

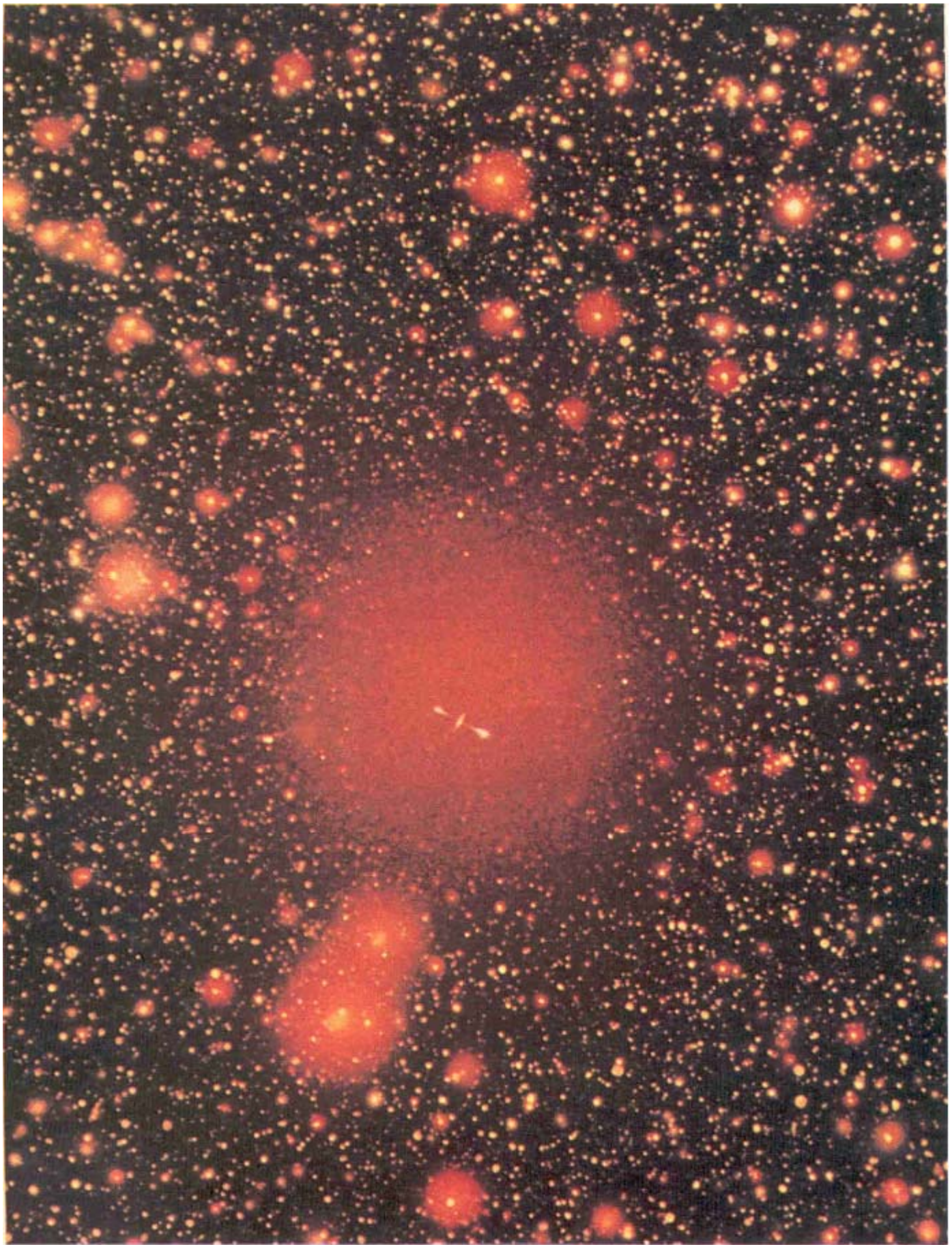
COSMOS

CARL SAGAN





COSMOS



Quasar dentro de uma galáxia elíptica gigante, dominando um magnífico aglomerado de galáxias. Criação de Adolf Schaller.

COSMOS

Carl Sagan

1980

Sinceros agradecimentos pela permissão de reimpressão de matérias publicadas anteriormente a:

American Folklore Society: Extrato de "Chukchee Tales" de Waldemar Borgoras do *Journal of American Folklore*, volume 41 (1928). Reimpresso com permissão da American Folklore Society.

Ballantine Books: Ilustração de Darrell K. Sweet para a capa de *Red Planet* de Robert A. Heinlein, copyright© 1949 de Robert A. Heinlein, revisto em 1976 por Robert A. Heinlein. Ilustração de Michael Whelan para a capa de *With Friends Like These...* de Alan Dean Foster, copyright © 1977 de Alan Dean Foster. Ilustração de Os Irmãos Hildebrandt para a capa de *Sfellar Science — Fiction Stories # 2*, editado por Judy-Lynn del Pey, copyright © 1976 por Randon House Inc. Todos publicados por Ballantine Books, uma divisão da Random House Inc., utilizados com permissão.

Cidade de Bayeux: Cena da Tapeçaria de Bayeux, reproduzida com autorização especial de City Bayeux.

CoEvolution Quarterly: Parte de *Computer Photo Map of Galaxies*, © CoEvolution Quarterly. \$5,00 porte pago, Box 428, Sausalito. CA. 94966.

J. M. Dent & Sons, Ltd.: Excertos da tradução de *O Alcorão* por J. M. Rodwell (An Everyman's Library Series) Reimpresso com permissão de J. M. Dent & Sons Ltd.

J. M. Dent & Sons, Ltd. e E. P. Dutton: Excerto de *Pensées* de Blaise Pascal, traduzido por W. F. Trotter (Ar Everyman's Library Series). Reimpresso com permissão do editor nos Estados Unidos, E. P. Dutton, e do editor na Inglaterra, J. M. Dent & Sons Ltd.

Encyclopaedia Britannica, Inc.: Citações de Isaac Newton (*Óptica*), Joseph Fourier (*Teoria Analítica do Calor*) e Uma Pergunta sobre Pitágoras por Anaximenes (c: 600 A.C.). Reimpresso com permissão de Grandes Livros de Mundo Ocidental. Copyright 1952 by Encyclopaedia Britannica, Inc.

Harvard University Press: Citação de Demócrito de Abdera, retirada de *Loeb Classical Library*. Reimpresso com permissão da Harvard University Press.

Indiana University Press: Excertos de Ovídio, *Metamorfoses*, traduzidos por Rolfe Humphries, copyright 1955 by Indiana University Press. Reimpresso com permissão do autor.

Liveright Publishing Corporation: Versos reimpressos de *The Bridge*, poema de Hart Crane, com permissão de Liveright Publishing Corporation. Copyright 1933, © 1958, 1970 by Liveright Publishing Corporation.

Oxford University Press: Excerto de *Zurvan: A Zoroastrian Dilemma* de R. C. Zaehner (Claredon Press-1955) Reimpresso com permissão de Oxford University Press.

Penguin Books, Ltd.: Um verso de *Enuma Elish*, Sumer, em *Poems of Heaven and Hell from Ancient Mesopotamia* traduzido por N. K. Sandars (Penguin Classics 1971). Copyright© N. K. Sandars, 1971. Doze versos de Lao Tzé — *Tao Te Ching*, traduzido por D. C. Lau (Penguin Classics, 1963). Copyright© D. C. Lau, 1963. Reimpresso com permissão de Penguin Books, Ltd.

Pergamon Press Ltd.: Excertos de *Giant Meteorites* de E. L. Krinov foram reimpressos com permissão de Pergamo Press Ltd.

Simon & Schuster, Inc.: Citação do Bhagavad Gita, de *Lawrence and Oppenheimer* de Nuel Pharr Davis (1968, pág. 239), e excerto de *The Sand Reckoner* de Arquimedes, retirado de *The World of Mathematics* de James Newman (1956, volume 1, pág. 420). Reimpresso com permissão de Simon & Schuster, Inc.

The University of Oklahoma Press: Excerto de *Popol Vuh: The Sacred Book of the Ancient Quiché Maya*, de Adria Recinos, 1950. Copyright © 1950 by the University of Oklahoma Press. Reimpresso com permissão da University of Oklahoma Press.

Para Ann Druyan

Diante da vastidão do espaço e da imensidade do tempo,
é uma alegria para mim
partilhar um planeta e uma época com Annie

SUMÁRIO

Introdução / XI

1. As Fronteiras do Oceano Cósmico / 3

2. Uma Voz na Fuga Cósmica / 23

3. A Harmonia dos Mundos / 45

4. Céu e Inferno / 73

5. Toadas para um Planeta Vermelho / 105

6. Histórias de Viajantes / 137

7. A Espinha Dorsal da Noite / 167

8. Viajando no Espaço e no Tempo / 195

9. As Vidas das Estrelas / 217

10. O Limite do Eterno / 245

11. A Persistência da Memória / 269

12. Encyclopaedia Galactica / 291

13. Quem Responde pela Terra? / 317

Apêndice 1: *Reductio ad Absurdum* e a Raiz Quadrada do Dois / 347

Apêndice 2: Os Cinco Sólidos Pitagóricos / 348

INTRODUÇÃO

Tempo virá em que uma pesquisa diligente e contínua esclarecerá aspectos que agora permanecem escondidos. O espaço de tempo de uma vida, mesmo se inteiramente devotada ao estudo do céu, não seria suficiente para investigar um objetivo tão vasto... este conhecimento será conseguido somente através de gerações sucessivas. Tempo virá em que os nossos descendentes ficarão admirados de que não soubéssemos particularidades tão óbvias a eles... Muitas descobertas estão reservadas para os que virão, quando a lembrança de nós estará apagada. O nosso universo será um assunto sem importância, a menos que haja alguma coisa nele a ser investigada a cada geração... A natureza não revela seus mistérios de uma só vez.

— Sêneca, Problemas Naturais
Livro 7, século I

Na antigüidade, nos costumes e nas conversas do dia-a-dia, os acontecimentos mais mundanos eram relacionados com os principais eventos cósmicos. Um exemplo interessante é o encantamento contra o verme que os assírios de 1.000 a.C. imaginavam que provocava a dor de dente. Ele começa com a origem do universo e termina com a cura para a dor de dente:

Após Anu ter criado os céus,
E os céus terem criado a terra,
E a terra ter criado os rios,
E os rios terem criado os canais,
E os canais terem criado o pântano,
E o pântano ter criado o verme,
O verme procurou Shamash chorando,
Suas lágrimas se derramando diante de Ea:
"O que me darás como comida,
O que me darás para beber?"
"Eu te darei o figo seco E o damasco."
"O que representam eles para mim? O figo seco
E o damasco!
Eleve-me, e entre os dentes
E as gengivas deixe-me morar!...
"Por teres dito isto, ó verme,
Possa Ea destruir-te com a força da
Sua mão!

(Encantamento contra dor de dente).

O tratamento: Cerveja de segunda classe... e óleo que tu deverás misturar; O encantamento, tu deverás recitá-lo três vezes seguidas e então colocar a poção sobre o dente.

Nossos ancestrais ansiavam compreender o mundo, mas não conseguiram encontrar um método. Imaginaram um universo pequeno, fantástico e arrumado, no qual as forças dominantes eram deuses como Anu, Ea e Shamash. Neste universo os seres humanos desempenharam um papel importante, senão central. Estamos intimamente entrosados com o resto da natureza. O tratamento da dor de dente com cerveja de segunda classe estava associado aos mais profundos mistérios cosmológicos.

Hoje em dia descobrimos um modo mais abrangente e distinto para entender o universo, um método chamado ciência; revelou-nos um universo tão antigo e tão vasto que os problemas dos seres humanos pareciam, à primeira vista, decorrentes de pequenas implicações. A nossa visão do Cosmos cresceu. Pareceu-nos, a princípio, remoto e distante. Mas a ciência descobriu não somente que o universo encerra uma grandeza implícita e estática acessível à compreensão humana, mas também que somos, em um sentido muito real e profundo, uma parte deste Cosmos, nascidos dele, nosso destino irremediavelmente ligado a ele. Os eventos humanos básicos e os mais triviais remontam ao universo e suas origens. Este livro se dedica à exploração desta perspectiva cósmica.

No verão e outono de 1976, como membro do Viking Lander Imaging Flight Team, engajei-me, com outros vários colegas cientistas, na exploração do planeta Marte. Pela primeira vez na história da humanidade, fizemos aterrisar duas espaçonaves na superfície de um outro mundo. Os resultados, descritos detalhadamente no Capítulo 5, foram espetaculares, o significado histórico da missão inegavelmente visíveis, embora o público não tenha conhecimento de quase nada destes importantes acontecimentos. A imprensa foi, em sua maior parte, desatenta; a televisão também ignorou a missão. Quando tornou-se claro que uma resposta definitiva sobre a questão da vida em Marte não viria, o interesse diminuiu ainda mais. Há pouca tolerância para a ambigüidade. Quando descobrimos que o céu em Marte era de uma coloração amarelo-róseo e não azul como tinha sido erroneamente noticiado, o fato foi saudado por um coro de vaias pelos repórteres reunidos — eles queriam que Marte, até mesmo neste aspecto, fosse semelhante à Terra. Acreditavam que os índices de audiência se desinteressariam progressivamente quando fosse revelado que aquele planeta era diferente do nosso, embora as paisagens marcianas fossem desconcertantes. Fui positivo, baseado em minha experiência, que existe um enorme interesse geral na exploração dos planetas e em muitos tópicos científicos afins — a origem da vida, a Terra e o Cosmo, a procura de uma inteligência extraterrestre, nossa conexão com o universo. Estou certo de que este interesse poderia ser incentivado pelo mais poderoso meio de comunicação que é a televisão.

Minhas idéias eram partilhadas com B. Gentry Lee, o analista dos dados da Viking e diretor de planejamento da missão, um homem de extraordinária capacidade organizacional. Decidimos, corajosamente, fazer alguma coisa a respeito do problema. Lee propôs formarmos uma companhia de produção

devotada a comunicações sobre ciência de maneira acessível e atraente. Nos meses seguintes nos detivemos em vários projetos. O mais interessante era uma proposta de perguntas da KCET, o Public Broadcasting Service de Los Angeles. Ao mesmo tempo concordamos em produzir uma série de treze capítulos para a televisão focalizando a astronomia, mas abrangendo uma ampla perspectiva dos seres humanos. Seria dirigido a uma audiência popular, e deveria ser visual e musicalmente fantástico, para tocar tanto o coração quanto a mente. Conversamos com redatores, contratamos um produtor executivo e descobrimo-nos engajados em um projeto com duração de três anos, chamado *Cosmos*. Quando foi elaborado, estimou-se uma audiência em todo o mundo de 140 milhões de espectadores, ou 3% da população humana do planeta Terra. Foi dedicado ao propósito de que o público é muito mais inteligente do que geralmente se acredita, que as questões científicas mais profundas sobre a natureza e a origem do mundo despertam interesses e paixões em um grande número de pessoas. A época atual é um marco importante para a nossa civilização, e talvez para a nossa espécie. Qualquer que seja o caminho no qual enveredemos, nosso destino estará indissoluvelmente ligado à ciência. É essencial a nós, para a simples sobrevivência, entender a ciência. Além disso, ela é deliciosa; a evolução se processa de forma tal que temos prazer em compreendê-la, os que a entendem são mais prováveis de sobreviverem. A série para televisão *Cosmos* e o livro representam uma experiência com esperanças em comunicar algumas das idéias, métodos e alegrias da ciência.

O livro e o seriado evoluíram juntos. De alguma forma, um se baseia no outro. Muitas ilustrações neste livro são baseadas em visuais magníficos preparados para a televisão. Mas livros e séries televisivas têm audiências um tanto diferentes, e permitem vias de acesso diferentes. Uma das grandes qualidades de um livro é que é possível ao leitor retornar várias vezes a passagens obscuras ou difíceis; isto começa a ser possível, com o desenvolvimento da tecnologia do vídeo-tape e do vídeo-disco para televisão. Há muito maior liberdade para o autor na escolha do alcance e profundidade dos tópicos de um capítulo em um livro do que os cinquenta e oito minutos e trinta segundos observados com real atenção de um programa de televisão não-comercial. Este livro mergulha mais profundamente em muitos tópicos do que a série para televisão. Há assuntos apresentados no livro que não aparecem na série e vice-versa. A sequência de desenhos, de acordo com os traços de Tenniel, de Alice e seus amigos em ambientes de baixa e alta gravidade, era incerta, quando elaborada, de sobreviver aos rigores da edição televisiva. Estou encantado que estas ilustrações fascinantes do artista Brown e o texto correspondente tenham encontrado seu lugar aqui. Por outro lado, representações explícitas do Calendário Cósmico foram ressaltadas na série televisiva e não aparecem no livro — em parte por aparecer na minha obra *Os Dragões do Éden*; igualmente não apresento aqui a vida de Robert Goddard com muitos detalhes, porque há um capítulo no *Broca's Brain* devotado a ele. Mas cada episódio da série televi-

siva segue de perto o capítulo correspondente do livro; e gostaria de pensar que o prazer decorrente de cada uma das duas formas de apresentação será engrandecido pela referência à outra.

Com o sentido de esclarecer, introduzi em alguns casos a mesma idéia mais de uma vez, na primeira superficialmente e nas seguintes com mais profundidade. Isto ocorre, por exemplo, na introdução aos objetos cósmicos no Capítulo I, que são examinados em maiores detalhes posteriormente; ou na apresentação das mutações, enzimas e ácidos nucléicos no Capítulo II. Em poucos casos os conceitos são apresentados fora de uma ordem histórica. Por exemplo, as idéias dos antigos cientistas gregos são apresentadas no Capítulo VII, bem após a discussão sobre Johannes Kepler no Capítulo III. Acredito que uma apreciação dos gregos pode ter melhores subsídios após constatar-mos que eles apenas não concluíram integralmente as suas observações.

Por ser a ciência inseparável do resto do esforço humano, não pode ser questionada sem incursões, algumas vezes de relance, em outras em mergulhos profundos, com aspectos social, político, religioso e filosófico. Mesmo filmando uma série para televisão sobre ciência, a devoção mundial às atividades militares se torna inoportuna. Simulando a exploração de Marte no deserto de Mohave com uma versão perfeita da Viking Lander, éramos repetidamente interrompidos pela Força Aérea dos Estados Unidos executando evacuações com bombas em um campo de teste próximo. Em Alexandria, Egito, das nove às onze, em todas as manhãs, nosso hotel se submetia à prática de bombardeios aéreos pela Força Aérea egípcia. Em Samos, Grécia, a permissão para filmar em todos os locais foi recusada até o último momento pelas manobras da NATO, e que eram claramente a construção de abrigos subterrâneos e estabelecimento de artilharia e tanques nas encostas. Na Tchecoslováquia, o uso de *walkie-talkies* para organização da filmagem de logística em uma estrada rural atraiu a atenção de um avião de caça da Força Aérea tcheca, que circulei por sobre nós até o comando ter-se assegurado de que não estava havendo ameaças à segurança nacional. Na Grécia, Egito e Tchecoslováquia, nossa equipe de filmagem foi acompanhada sempre em todos os locais por agentes de segurança do Estado. Perguntas iniciais a respeito de filmar em Kaluga, URSS, para uma apresentação proposta sobre a vida de um pioneiro russo da astronáutica, Kostantin Tsiol-kovsky, foram desencorajadas porque, como descobrimos posteriormente, haveria julgamento de dissidentes a serem realizados no local. Nossa equipe de câmeras foi alvo de inúmeras gentilezas em todos os países visitados, mas a presença militar maciça, o medo íntimo das nações esteve sempre presente. A experiência confirmou minha resolução de expor, quando relevantes, questões sociais tanto no seriado como no livro.

O espírito da ciência é que ela própria se corrige. Novos resultados experimentais e idéias estão continuamente resolvendo mistérios antigos. Por exemplo, no Capítulo IX, discutimos o fato do Sol parecer estar gerando muito poucas das partículas indefinidas chamadas neutrinos. Algumas explicações propostas

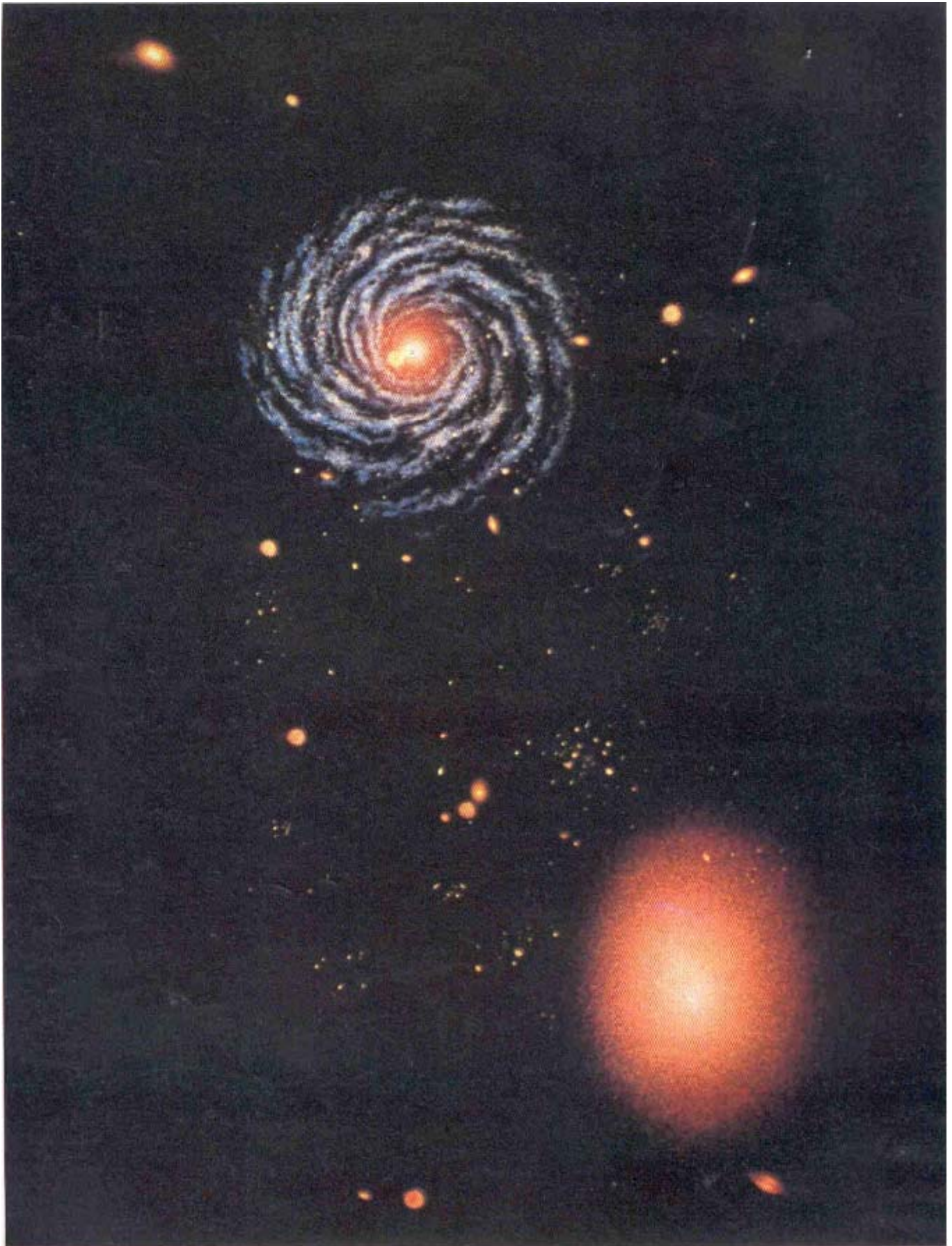
são enumeradas. No Capítulo X nos pergunta-mos se existe matéria suficiente no universo para impedir a recessão das galáxias distantes, e se o universo é infinitamente antigo e, portanto, não-criado. Algum esclarecimento em ambas as perguntas pôde desde então ter sido lançado pelas experiências de Frederick Reines, da Universidade da Califórnia, que acredita que ele tenha descoberto (a) que os neutrinos existem em três estados diferentes e que somente um deles pode ser detectado pelos telescópios de neutrinos que estudam o Sol; e (b) que os neutrinos, diferentemente da luz, possuem massa, de modo que a gravidade de todos os neutrinos no espaço ajudam na limitação do Cosmos e impedem a sua expansão constante. Experimentos futuros mostrarão se estas idéias estão corretas. Porém, elas ilustram o acesso renovado contínuo e vigoroso do esclarecimento recebido, que é fundamental no empreendimento científico.

Em um projeto desta magnitude, é impossível agradecer a todos que contribuíram para a sua realização. Entretanto, desejo mencionar especialmente B. Gentry Lee; o *staff* de produção do *Cosmos*, incluindo os produtores-seniores Geoffrey Haines-Stiles e David Kennard e o produtor-executivo Adrian Malone; os artistas Jon Lomberg (que desempenhou um papel crítico no projeto e organização originais do visual do *Cosmos*), John Allison, Adolf Schaller, Rick Sternbach, Don Davis, Brown e Anne Norcia; os consultores Donald Goldsmith, Owen Ginge-rich, Paul Fox e Diane Ackerman; Cameron Beck; a administração do KCET, particularmente Greg Andorfer que nos encaminhou a primeira proposta da KCET, Chuck Allen, William Lamb e James Loper; e os redatores e coprodutores do seriado *Cosmos*, incluindo a Atlantic Richfield Company, a Corporation for Public Broadcasting, a Arthur Vining Davis Foundations, A Alfred P. Sloan Foundation, a British Broadcasting Corporation e a Polytel International. Outros que auxiliaram a esclarecer os objetivos ou as vias de acesso estão mencionados em outras páginas. A responsabilidade final pelo conteúdo do livro é, naturalmente, minha. Agradeço ao *staff* da Random House, particularmente ao meu editor, Anne Freedgood, e ao projetista Robert Aulicino, por sua capacidade e paciência quando aspectos do seriado e do livro pareciam entrar em conflito. Tenho um débito especial de gratidão com Shirley Arden, minha assistente executiva, por datilografar os rascunhos iniciais deste livro e introduzir os posteriores em todos os estágios de produção com a sua inusitada competência. Esta é uma das muitas dívidas às quais o projeto *Cosmos* é profundamente grato. Estou mais agradecido do que posso dizer à administração da Universidade de Cornell concedendo-me dois anos de dispensa para prosseguir com este projeto, aos meus colegas e alunos, aos colegas da NASA, JPL e do Voyager Imaging Team.

Minha dívida maior na execução do *Cosmos* é com Ann Druyan e Steven Soter, meus co-autores no seriado para TV. Contribuíram fundamentalmente, e com freqüência, para as idéias básicas e suas conexões, para a estrutura intelectual inteira dos episódios, e para a felicidade do estilo. Estou profundamente grato por suas vigorosas leituras críticas das versões iniciais do livro, por suas sugestões criativas e construtivas nas revisões de vários esboços e suas principais contribuições ao *script* da televisão, que influenciaram de várias maneiras no conteúdo deste livro. O prazer encontrado em muitas das nossas discussões é uma das principais recompensas do projeto *Cosmos*.

Ithaca e Los Angeles. Maio de 1980

COSMOS



Pequeno aglomerado de galáxias, incluindo uma espiral e uma elíptica. Criação de Adolf Schaller.



Capítulo I

AS FRONTEIRAS DO OCEANO CÓSMICO

Os primeiros homens criados e formados foram chamados de Feiticeiros do Riso Fatal, Feiticeiros da Noite, Os Desleixados e Feiticeiros Negros... Foram dotados de inteligência e sabiam tudo o que havia no mundo. Quando olhavam, viam instantaneamente tudo ao redor, e eles contemplaram a volta do arco dos céus e da face arredondada da terra... [Então o Criador disse]: "Eles sabem tudo... o que deveremos fazer com eles agora? Deixe que a visão deles alcance somente aquilo que está próximo; deixem os ver somente uma pequena parte da face da terra!... Não são eles, pela própria natureza, simples criaturas resultantes de nosso trabalho? Deverão ser deuses também?"

— O Popol Vuh dos Maias Quiché.

Porventura compreenderam a expansão da terra? Onde é o caminho da morada da luz, E onde é o local da escuridão...?

— O Livro de Jó

Não é no espaço que devo procurar a minha dignidade, mas na direção do meu pensamento. Não deverei tê-la mais se possuir mundos. Pela amplidão, o universo me envolve e me traga como um átomo; pelo pensamento eu compreendo o mundo.

— Blaise Pascal, *Pensées*.

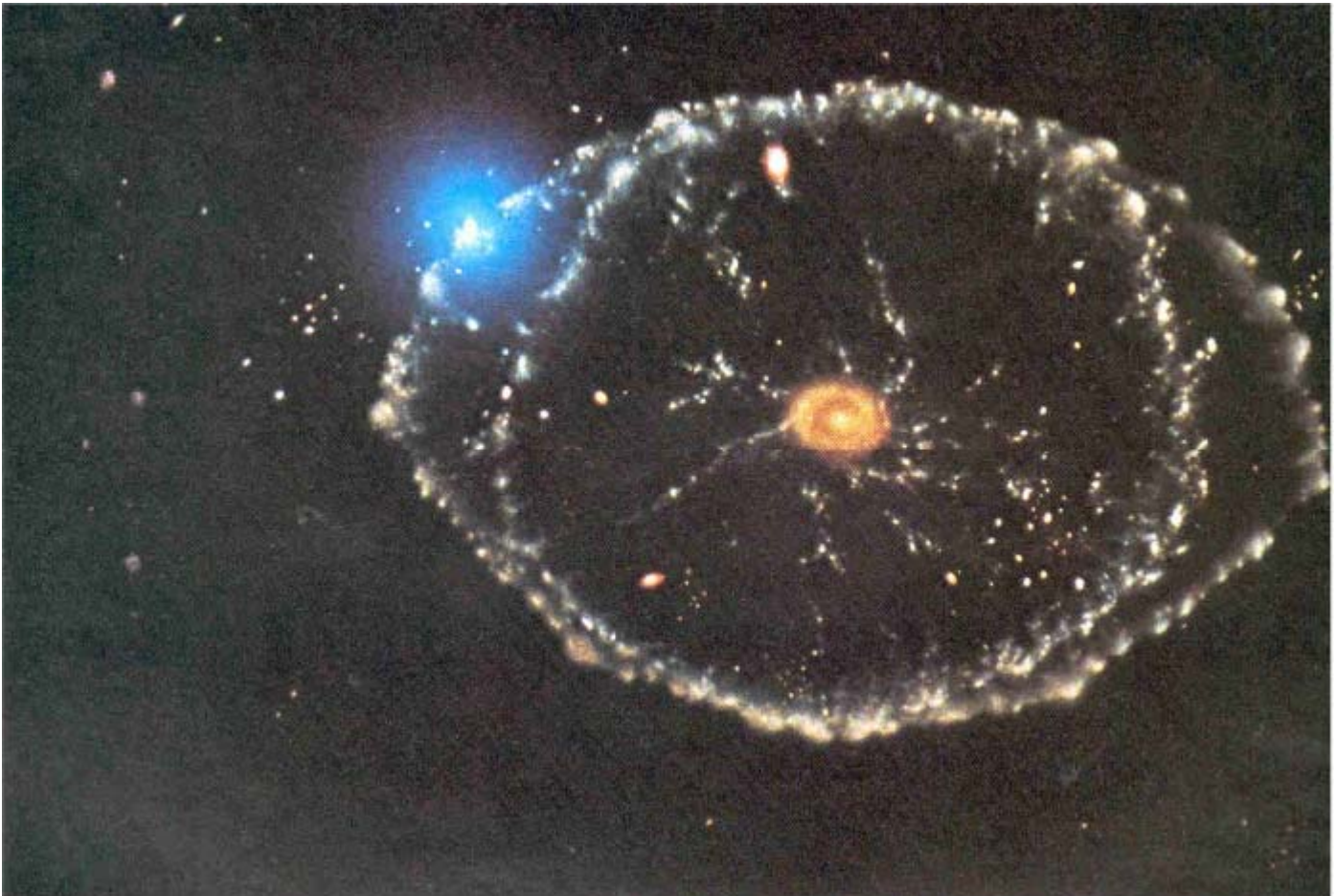
O conhecido é finito, o desconhecido, infinito; intelectualmente permanecemos em uma ilha dentro de um oceano ilimitado de inexplicabilidade. Nosso objetivo em todas as gerações é reivindicar por um pouco mais de terra.

— T. H. Huxley, 1887



Aglomerado mais alongado de galáxias incluindo (*embaixo, à direita*) uma irregular. Criação de Adolf Schaller e Rick Stembach.

Rara galáxia em anel, com uma de suas estrelas componentes em azul intenso explodindo em supernova. Criação de Adolf Schaller.



O COSMOS É TUDO O QUE EXISTE, QUE EXISTIU OU QUE EXISTIRÁ.

Nossas contemplações mais despretentiosas do Cosmos nos induzem — há um calafrio na espinha, uma perda de voz, uma sensação de vazio, como em uma memória distante, de uma queda a grande altura. Sentimos que estamos próximos do maior dos mistérios.

O tamanho e a idade do Cosmos estão além da compreensão humana. Perdido em algum local entre a imensidão e a eternidade, está o nosso diminuto lar planetário. Sob uma perspectiva cósmica, a maioria dos objetivos humanos parece insignificante, até mesmo mesquinha, embora nossa espécie seja jovem, curiosa e corajosa, e encerre grandes esperanças. Nos últimos milênios fizemos descobertas assombrosas e inesperadas sobre o Cosmos e sobre o nosso lugar nele, explorações que anseiam ser consideradas. Elas nos lembram que os seres humanos evoluíram para perguntar sobre si mesmos, que compreender é uma alegria, que conhecimento é um pré-requisito para sobreviver. Acredito que o nosso futuro dependa de quanto saibamos sobre este Cosmos no qual flutuamos como uma partícula de poeira em um céu matutino.

Estas explorações requerem ceticismo e imaginação, a qual, com frequência, nos transporta a mundos que nunca existiram, mas sem ela não vamos a parte alguma. O ceticismo nos permite distinguir a fantasia do fato, para testar nossas especulações. O Cosmos é rico, além das previsões, em fatos graciosos, em inter-relações estranhas, em engenhos sutis do terror.

A superfície da Terra é uma fronteira do oceano cósmico. Dele aprendemos a maior parte do que sabemos. Recentemente, aventuramo-nos no mar o suficiente para umedecer os pés ou, no máximo, molhar nossos tornozelos. A água parece nos convidar. O oceano chama. Uma parte do nosso ser sabe que lá é o local de onde viemos. Demoramos a retornar. Estas aspirações, penso, não são irreverentes, embora possam perturbar, independente dos deuses que existem.

As dimensões do Cosmos são tão grandes que, se utilizássemos as unidades de distância familiares, como metros ou milhas, escolhidas pela sua utilidade na Terra, fariam pouco sentido. Medimos, então, as distâncias com a velocidade da luz. Em um segundo, um raio de luz percorre 186.000 milhas, aproximadamente 300.000 quilômetros ou sete voltas em torno da Terra; em oito minutos ele viaja do Sol à Terra. Podemos dizer que o Sol está a oito minutos-luz de distância. Em um ano ele atravessa perto de dez trilhões de quilômetros, cerca de seis trilhões de milhas de espaço. Esta unidade de comprimento, a distância que a luz percorre em um ano, é chamada ano-luz. Mede não o tempo, mas distâncias — distâncias enormes.

A Terra é um lugar. De maneira nenhuma o único lugar, nem mesmo um lugar típico. Nenhum planeta, estrela ou galáxia pode ser típica, pois o Cosmos é, em sua maior parte, vazio. O único lugar típico é o vácuo universal, frio e vasto, a noite interminável do espaço galáctico, um local tão estranho e desolado que, por comparação, planetas, estrelas e galáxias parecem dolorosamente raros e adoráveis. Se estivéssemos aleatoriamente inseridos no Cosmos, a chance de nos descobrirmos em um planeta ou próximo a um deles seria menos de uma em um bilhão de trilhão de trilhão* (10^{33} , um seguido de 33 zeros). Na vida diária, tais probabilidades são chamadas de "forçadas". Os mundos são preciosos.

De um ponto do espaço intergaláctico privilegiado, veríamos, espalhados como espuma no mar em ondas do espaço, inumeráveis punhados de estilhaços de luz pálida. São as galáxias. Algumas são viajantes solitárias, muitas habitadas por aglomerados comunais em confusão, levadas eternamente na imensa escuridão cósmica. Diante de nós está o Cosmos, na maior escala que conhecemos. Estamos no reino das nebulosas, oito bilhões de anos-luz da Terra, a meio caminho da fronteira do universo conhecido.

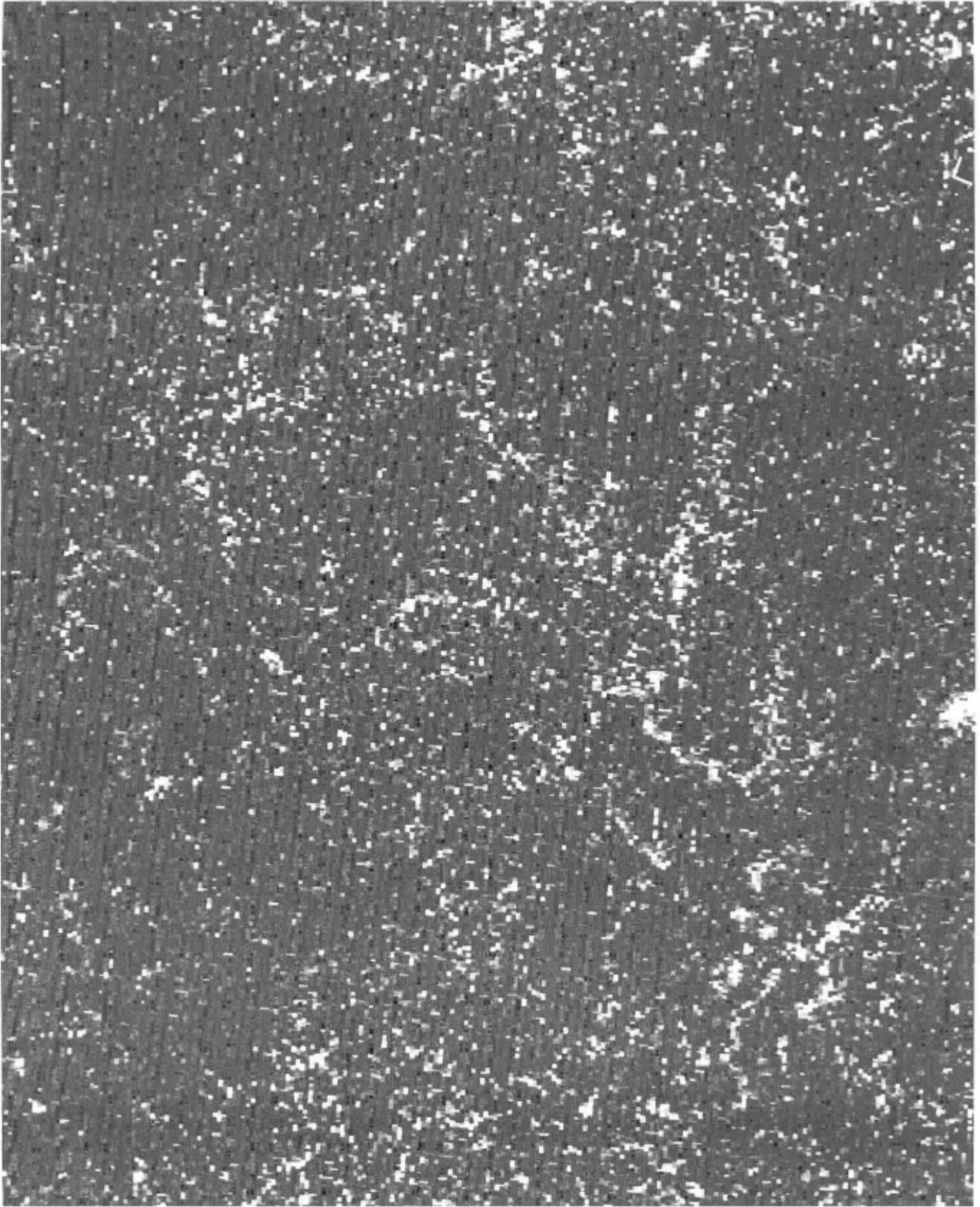
Uma galáxia é composta de gás, poeira e estrelas — bilhões e bilhões de estrelas. Cada uma delas pode ser um sol para alguém. Em uma galáxia existem estrelas e mundos e, talvez, uma proliferação de formas de vida e seres inteligentes e civilizações espaciais. Mas de tão longe uma galáxia me lembra uma coleção de objetos, conchas marinhas, ou talvez corais, produtos do trabalho da Natureza por eternidades no oceano cósmico.

Há algumas centenas de bilhões (10^{11}) de galáxias, cada



Radiogaláxia explodindo com jatos simétricos. Criação de Adolf Schaller.

* Usamos a convenção científica americana para números grandes: um bilhão = $1.000.000.000 = 10^9$, um trilhão = $1.000.000.000.000 = 10^{12}$, etc. O expoente representa o número de zeros após o numeral 1.



Contextura em grande escala do Cosmos: pequena amostra de um mapa de milhão de galáxias mais brilhantes, todas até um bilhão de anos-luz de distância da Terra. Cada pequeno quadrado é uma galáxia encerrando bilhões de estrelas. O mapa é baseado em um levantamento telescópico que levou doze anos para ser completado. Trabalho de Donald Shane e Carl Wirtanen, no University of California's Lick Observatory. Cortesia de Stewart Brand.

uma contendo, em média, uma centena de bilhão de estrelas. Em todas as galáxias há, talvez, tantos planetas quanto estrelas, $10^{11} \times 10^{11} = 10^{22}$, dez bilhões de trilhão. Face a estes números esmagadores, qual a probabilidade que uma única estrela comum, o Sol, seja acompanhada por um planeta habitado? Por que seríamos nós, aconchegados em alguma esquina perdida do Cosmos, tão afortunados? Para mim, parece bem mais provável que o universo esteja repleto de vida. Nós, seres humanos, ainda não a conhecemos, pois estamos iniciando as nossas explorações. Há oito bilhões de anos-luz, pressionamo-nos duramente para descobrir o aglomerado em que se encontra a nossa galáxia, a Via-láctea, o que dizer do Sol e da Terra. O único planeta que temos certeza ser habitado é um diminuto ponto de rocha e metal, brilhando debilmente pela luz solar refletida, e a esta distância inteiramente perdido.

Atualmente as nossas viagens nos levam ao que os astrônomos na Terra gostam de chamar de Grupo Local de galáxias.



Galáxia espiral barrada, assim chamada pela barra de estrelas e poeira que traspassa seu núcleo. Criação de Jon Lomberg.



Galáxia espiral típica. Criação de Jon Lomberg.

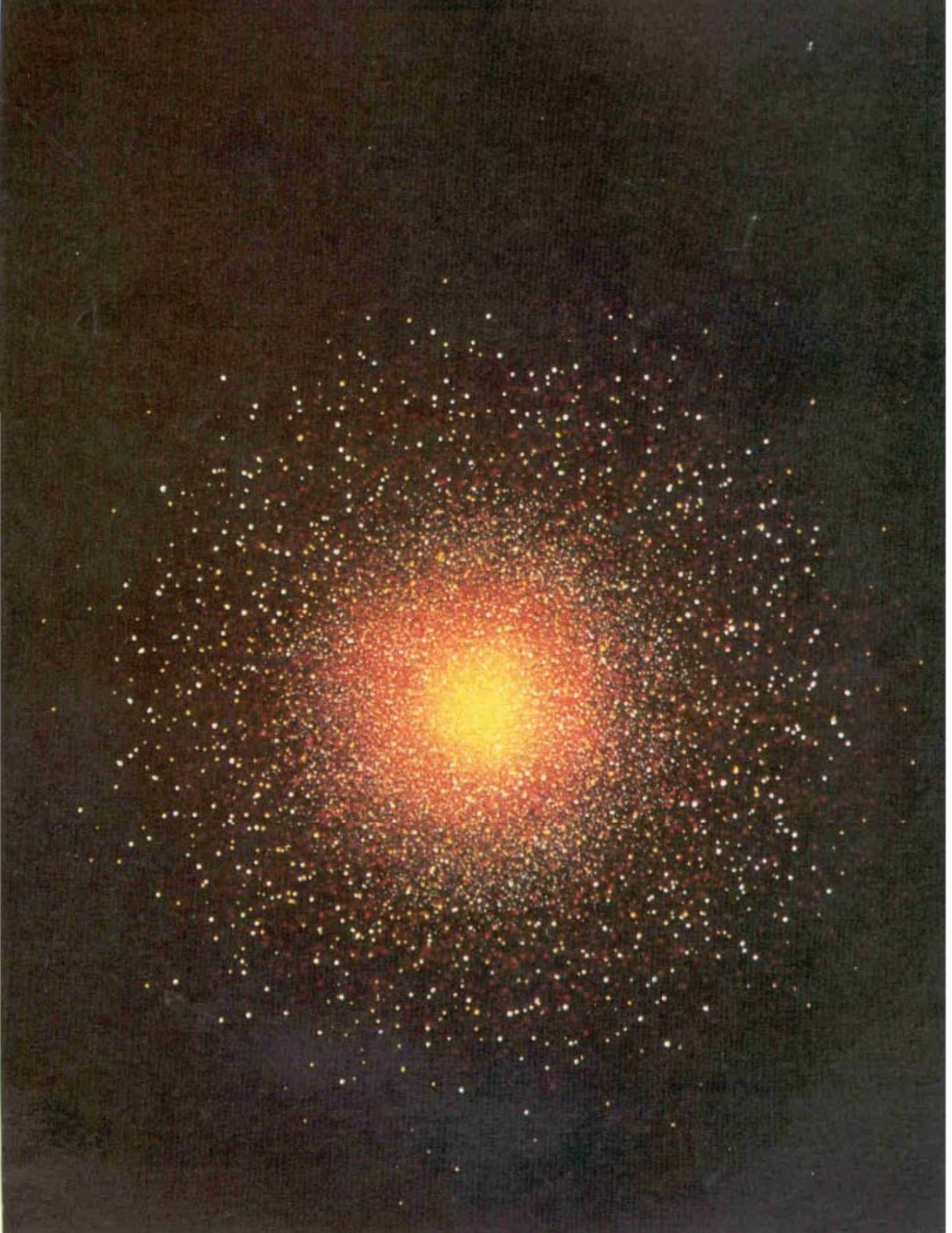
Com uma extensão de vários milhões de anos-luz, é composto de cerca de vinte galáxias constituintes. É um aglomerado esparso, obscuro e desprezível. Uma destas galáxias é a M31, vista da Terra na constelação de Andrômeda. Como outras galáxias espirais, é um imenso molinete de estrelas, gás e poeira. A M31 possui dois pequenos satélites, galáxias anãs elípticas, atraídas pela gravidade, pela mesma lei da física que me mantém sobre minha cadeira. As leis da natureza são as mesmas do Cosmos. Estamos agora a dois milhões de anos-luz de casa.

Por trás da M31 existe outra galáxia, muito semelhante à nossa, com seus braços espirais movendo-se lentamente, uma vez a cada quarto de bilhão de anos. Agora, a quarenta mil anos-luz de casa, descobrimo-nos caindo em direção ao centro massivo da Via-láctea. Mas, se quisermos encontrar a Terra, teremos que alterar o nosso curso para as cercanias remotas da Galáxia, para um local obscuro próximo ao bordo de um distante braço espiral.

Nossa impressão predominante, mesmo entre os braços espirais, é de estrelas passando por nós — uma vasta sucessão de estrelas primorosamente autoluminosas, algumas frágeis como uma bolha de sabão e tão grandes que podem conter dez

A Via-láctea vista de um plano ligeiramente acima de seus braços espirais, iluminados por bilhões de estrelas azuis jovens e quentes. O núcleo galáctico, iluminado pelas estrelas vermelhas mais velhas, é visto a distância. Criação de Jon Lomberg.





Aglomerado globular de estrelas em órbita do núcleo galáctico. Criação de Anne Norcia.



O núcleo da Via-láctea visto de perfil. Criação de Adolf Schaller.

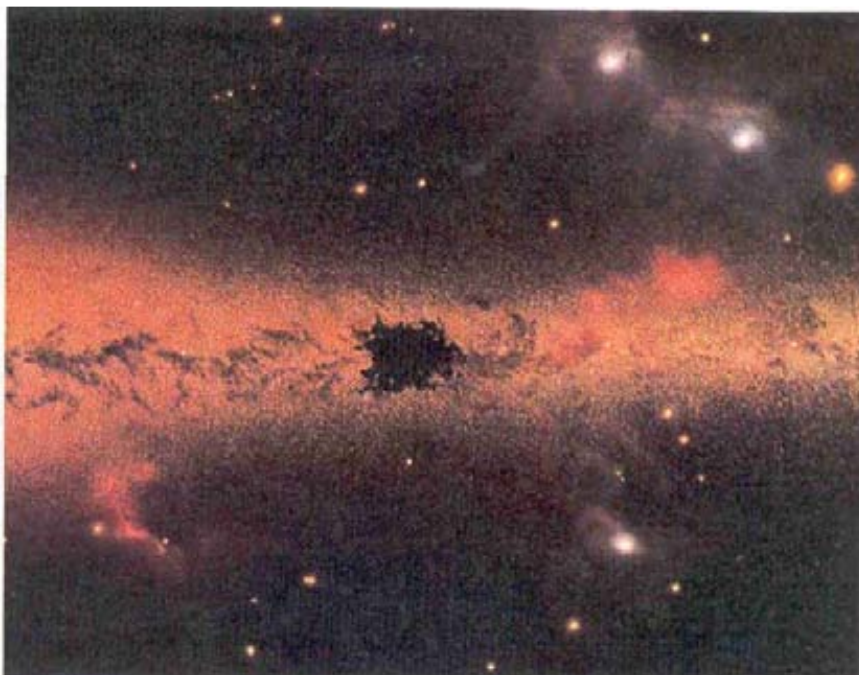


Estrela gigante vermelha (*em primeiro plano*) e um braço espiral ao longe, visto de perfil. Criação de John Allison e Adolf Schaller.

mil Sóis ou um trilhão de Terras; outras do tamanho de uma pequena cidade, e cem trilhões de vezes mais densas do que o chumbo. Algumas estrelas são solitárias, como o Sol. A maioria possui companheiras. Os sistemas comumente são duplos; duas estrelas, uma orbitando a outra, embora haja uma contínua graduação de sistemas triplos, nos aglomerados abertos, até de algumas dúzias de estrelas em aglomerados globulares maiores, resplandecentes, com um milhão de sóis. Algumas estrelas duplas estão tão próximas que se tocam, e o material estelar flui entre elas. A maioria é tão separada quanto Júpiter do Sol. Algumas estrelas, as supernovas, são tão brilhantes quanto a galáxia inteira que as contém; outras, os buracos negros, se tornam invisíveis a poucos quilômetros de distância. Algumas cintilam com um brilho constante, outras bruxuleiam ou piscam em ritmo cadenciado. Algumas giram com uma elegância majestosa, outras rodam tão febrilmente que se tornam achatadas nos pólos. A maioria brilha principalmente em luz visível e em infravermelho; outras também são fontes brilhantes de raios X ou de ondas de rádio. As estrelas azuis são quentes e jovens, as amarelas temperadas e de meia-idade; as vermelhas, freqüente-mente, são mais velhas e estão morrendo, e as estrelas pequenas, brancas ou pretas, se encontram nos estertores da morte. A Via-láctea contém cerca de 400 bilhões de estrelas de todos os tipos movendo-se com uma graciosidade complexa e ordenada. De todas elas, os habitantes da Terra conhecem de perto ou de longe somente uma.

Cada sistema estelar é uma ilha no espaço, resguardada de seus vizinhos por anos-luz. Posso imaginar criaturas penetrando nos primeiros clarões do conhecimento em mundos incontáveis, cada uma assumindo em primeiro lugar seu insignificante planeta e um punhado de sóis desprezíveis como sendo tudo o que existe. Crescemos no isolamento; somente aos poucos nos ensinamos sobre o Cosmos.

Algumas estrelas podem estar rodeadas de pequenos

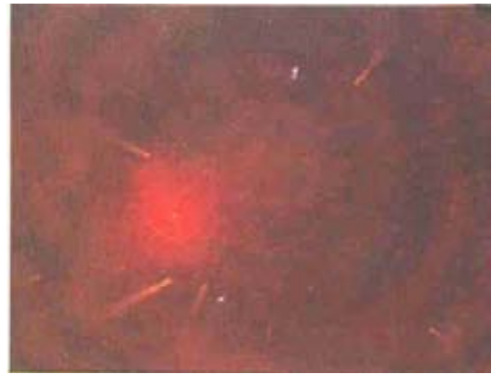


Nuvem de poeira escura e estrelas envolvidas em nebulosidades gasosas; por trás, a Via-láctea de perfil. Criação de Adolf Schaller e John Allison.

mundos rochosos e sem vida, de sistemas planetários congelados durante um estágio inicial da sua evolução. Talvez muitas estrelas possuam sistemas planetários semelhantes ao nosso; na periferia, grandes planetas com anéis gasosos e luas geladas, e mais próximo do centro, pequenos mundos quentes, azuis-esbranquiçados e cobertos por nuvens. Em alguns, a vida inteligente pode ter evoluído, refazendo a superfície planetária com algum empreendimento massivo de construção. São nossos irmãos e irmãs no Cosmos. Serão muito diferentes de nós? Como será sua forma, bioquímica, neurobiologia, história, política, ciência, tecnologia, arte, música, religião e filosofia? Talvez algum dia o saibamos.

Voltamos agora para o nosso canto, a um ano-luz da Terra. Em torno do nosso Sol há uma multidão esférica de gigantescas bolas de neve compostas de gelo, rocha e moléculas orgânicas: o núcleo cometário. A cada momento, uma estrela que passa provoca um ligeiro empurrão gravitacional, e uma delas inclina-se gentilmente para o interior do sistema solar. Lá, o Sol a esquentar, o gelo é vaporizado, desenvolvendo-se uma bela cauda cometária.

Aproximamo-nos dos planetas do nosso sistema, grandes mundos, cativos do Sol, impelidos gravitacionalmente a seguirem órbitas quase circulares, aquecidos principalmente pela luz do Sol. Plutão, coberto pelo metano gelado e acompanhado de sua gigantesca lua Caronte, é iluminado por um sol distante que aparece como não mais do que um ponto brilhante de luz contra um céu escuro como breu. Os mundos-gigantes de gás, Netuno, Urano, Saturno (a jóia do sistema solar) e Júpiter possuem um círculo de luas geladas. No interior da região dos planetas gasosos e dos icebergs orbitantes, estão as províncias rochosas e quentes do sistema solar interior. Há, por exemplo, o planeta vermelho, Marte, com vulcões elevando-se nas alturas, grandes vales fendidos, enormes tempestades de areia tomando todo o planeta, e talvez, possivelmente, algumas formas simples de vida. Todos os planetas descrevem órbitas em torno do Sol, a estrela mais próxima, um inferno de hidrogênio e hélio ocupado em reações termonucleares, inundando de luz o sistema solar.



Interior de uma nuvem escura de poeira, onde estrelas jovens estão começando a brilhar. Planetas próximos estão-se evaporando, e o gás liberado está sendo impelido, como a cauda de um cometa. Criação de Adolf Schaller.



Emissão de um pulsar de rotação rápida no centro de uma remanescente nova. Criação de John Allison.



Nebulosa, ou nuvem de gás iluminada, circundando uma explosão em supernova. Criação de John Allison.

O outro lado da Nebulosa de Órion, invisível à Terra. As três estrelas azuis compreendem o cinturão de Órion na constelação terrestre convencional. Criação de John Allison.



Aproximação do interior da Grande Nebulosa em Órion. O gás resplandece em várias cores, excitado pela luz das estrelas quentes. Parte da nebulosa está obscurecida por uma nuvem de poeira absorvente. A Nebulosa de Órion pode ser vista da Terra a olho nu. Criação de John Allison.



Terminando as nossas andanças, retornamos ao nosso pequeno, frágil, azul-esbranquiçado mundo, perdido em um oceano cósmico bem maior do que nossas idéias mais corajosas. É um mundo entre uma imensidade de outros. Talvez seja significativo somente para nós. A Terra é a nossa casa, nossa origem. Nosso tipo de vida surgiu e evoluiu aqui. A espécie humana está amadurecendo aqui. É neste mundo que desenvolvemos a nossa paixão em explorar o Cosmos, e é aqui que estamos, com alguns pesares e nenhuma garantia, elaborando o nosso destino.

Bem-vindos ao planeta Terra, lugar de céus azuis de nitrogênio, oceanos de água líquida, tépidas florestas e prados macios, um mundo positivamente borbulhante de vida. Sob a perspectiva cósmica é, como disse, dolorosamente belo e raro, mas é também, no momento, único. Em nossa *tourné*e pelo espaço e através do tempo é, até agora, o único mundo em que sabemos, com certeza, ter a matéria do Cosmos se tornado viva e consciente. Deve haver muitos mundos parecidos, espalhados pelo espaço, mas a nossa procura por eles começa aqui, com a sabedoria acumulada de homens e mulheres da nossa



Imersão no interior, através da poeira escura, da Nebulosa de Órion, intensamente iluminado pelas estrelas quentes. Criação de John Allison.



O Trapézio, quatro estrelas recente-mente formadas na Nebulosa de Órion. Criação de John Allison.



As Plêiades, estrelas jovens que recente-mente deixaram a sua nebulosa de origem, ainda envoltas por nuvens de poeira iluminada. Criação de Adolf Schaller.



Plutão, coberto por uma camada congelada de metano, e sua lua, muito grande, Caronte. Normalmente o mais exterior dos planetas, a órbita de Plutão cruza a de Netuno, como ocorreu recentemente. Criação de John Allison.



Saturno. Desenho de Adolf Schaller, Rick Sternbach e John Allison.



Io, dentre as luas gigantes de Júpiter, é a mais interna. Desenho de Don Davis.

espécie, guardada com muito custo através de milhões de anos. Somos privilegiados em viver entre pessoas brilhantes e passionavelmente inquiridoras, e em uma época em que a procura do saber é, em geral, recompensada. Seres humanos, nascidos na última das estrelas e agora habitando, por enquanto, um mundo chamado Terra, iniciaram sua longa viagem de volta à casa.

A descoberta de que a Terra era um mundo pequeno foi feita como o foram outras importantes, no antigo Oriente Próximo, em um tempo que alguns seres humanos chamam de século III A.C., na grande metrópole da época, a cidade egípcia de Alexandria. Lá vivia um homem chamado Eratóstenes. Um de seus contemporâneos, invejoso, chamou-o de "Beta", a segunda letra do alfabeto grego porque, ele disse, Eratóstenes era o segundo melhor do mundo em tudo. Mas parece claro que em quase tudo Eratóstenes era "Alfa". Ele foi astrônomo, historia-dor, geógrafo, filósofo, poeta, crítico de teatro e matemático. Os temas dos livros que escreveu abrangem *de Astronomia* até *Sobre a Liberação da Dor*. Foi também diretor da grande biblioteca de Alexandria onde, um dia, leu em um papiro que, na fronteira avançada do sul de Siena, próximo à primeira catarata do Nilo, ao meio-dia de 21 de junho, varetas retas e verticais não produziam sombras. No solstício de verão, o dia mais longo do ano, quando as horas avançavam para o meio-dia, as sombras das colunas do templo diminuía de tamanho. Ao meio-dia elas não existiam. Um reflexo do Sol podia, então, ser visto na água, no fundo de um poço. O Sol estava diretamente sobre as cabeças.

Foi uma observação que qualquer outra pessoa facilmente ignoraria. Varetas, sombras, reflexos em poços, posição do Sol — que importância poderiam ter esses simples acontecimentos diários? Mas Eratóstenes era um cientista, e suas reflexões sobre estes lugares-comuns mudaram o mundo; de certo modo, fizeram o mundo. Eratóstenes teve a presença de espírito de fazer um experimento, observar realmente se em Alexandria varetas retas e verticais lançavam sombra próximo ao meio-dia de 21 de junho. E descobriu que sim.

Eratóstenes perguntou a si mesmo como uma vareta em Siena não lançava sombra, e em Alexandria, mais ao norte, lançava uma sombra pronunciada. Consideremos um mapa do antigo Egito com duas varetas retas e verticais, de igual comprimento, uma em Alexandria e a outra em Siena. Suponhamos que, em um dado momento, cada vareta não lance nenhuma sombra. Isto é perfeitamente compreensível, admitindo-se a Terra como plana. O Sol estaria diretamente sobre nossas cabeças. Se as duas varetas lançassem sombras de igual comprimento, isto também faria sentido em uma Terra plana: os raios do Sol estariam inclinados no mesmo ângulo em relação às duas varetas. Mas, o que existia que fazia com que, no mesmo momento, não houvesse sombra em Siena e sim em Alexandria? (Veja pág. 16).

A única resposta possível, ele concluiu, era que a superfície da Terra era curva. Não somente isto: quanto maior a curvatura, maior a diferença no comprimento das sombras. O Sol está tão distante que os seus raios são paralelos quando chegam à Terra. Varetas colocadas em ângulos diferentes em relação aos

raios do Sol lançam sombras de comprimento diferentes. Pela diferença nos comprimentos das sombras, a distância entre Alexandria e Siena deveria ser de sete graus ao longo da superfície da Terra; isto é, se imaginarmos varetas colocadas em linha até o centro da Terra, lá elas se interceptariam em um ângulo de sete graus. Sete graus correspondem mais ou menos a um quinquagésimo de trezentos e sessenta graus, a circunferência completa da Terra. Eratóstenes sabia que a distância entre Alexandria e Siena era aproximadamente 800 quilômetros porque tinha alugado um homem para medi-la em passos. Oitocentos quilômetros vezes 50 são 40.000 quilômetros, de modo que esta devia ser a circunferência da Terra.*

É a resposta certa. Os únicos instrumentos de Eratóstenes eram varetas, olhos, pés e cérebro, além de uma inclinação para experiências. Com eles deduziu a circunferência da Terra com um erro de poucos por cento, um feito notável há 2.200 anos. Foi a primeira pessoa a medir com precisão o tamanho do planeta.

O mundo Mediterrâneo naquela época era famoso pelas navegações. Alexandria era o maior porto marítimo do planeta. Uma vez sabendo que a Terra era uma esfera de diâmetro modesto, não nos sentiríamos tentados a fazer viagens de exploração, procurar terras ainda não descobertas, tentar talvez até navegar em torno do planeta? Centenas de anos antes de Eratóstenes, a África foi circunavegada pelas embarcações fenícias a serviço do Faraó egípcio Necho. Partiam, provavelmente em barcos abertos frágeis, do Mar Vermelho, desciam a costa leste da África, subindo pelo Atlântico e retornando pelo Mediterrâneo. Esta viagem épica durava três anos, tanto tempo quanto a moderna nave espacial Voyager leva para voar da Terra a Saturno.

Após a descoberta de Eratóstenes, muitas grandes viagens foram iniciadas por bravos e ousados marinheiros. Seus navios eram pequenos e possuíam somente instrumentos de navegação rudimentares. Utilizavam cálculos precisos e seguiam as linhas da costa tanto quanto possível. Em um oceano desconhecido podiam determinar sua latitude, mas não a longitude, observando, noite após noite, a posição das constelações em relação ao horizonte, as familiares surgindo no centro de um oceano inexplorado para tranquilizar. As estrelas eram as amigas dos exploradores então em embarcações pelos mares da Terra, e agora em aeronaves pelo céu. Após Eratóstenes, alguns devem ter tentado mas, ninguém, antes de Magalhães, conseguiu completar uma viagem de circunavegação da Terra. Que histórias de ousadia e aventura devem ter sido relatadas no início, enquanto marinheiros e navegadores, homens engajados no trabalho do mundo, apostavam suas vidas na matemática de um cientista de Alexandria?

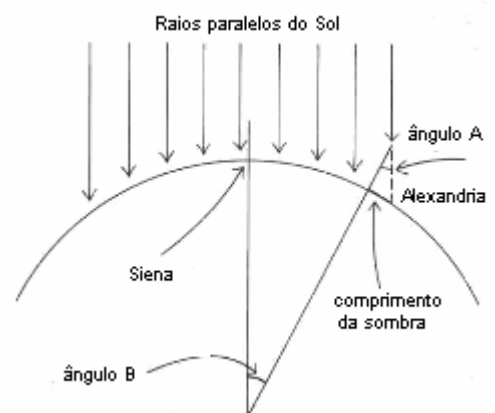
Na época de Eratóstenes, os globos eram construídos retratando a Terra como vista do espaço; estavam essencialmente corretos no que tratavam do Mediterrâneo, mas tornavam-se cada vez mais incorretos à medida que se afastavam de casa. Nosso conhecimento atual do Cosmos partilha este aspecto desagradável, porém inevitável. No século I, o geógrafo Alexandrino Estrabão



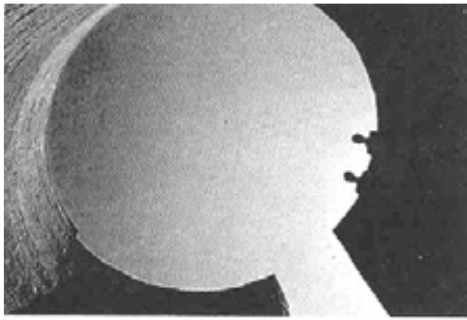
Monte Olimpo, gigantesca formação vulcânica de 30 km de altura e 500 km de largura, na superfície de Marte. Desenho de Don Davis.



Retrato do Sol. Criação de Anne Norcia.



Pelo comprimento da sombra em Alexandria, o ângulo A pode ser medido. Porém, pela geometria simples ("se duas linhas retas e paralelas forem interceptadas por uma terceira, os ângulos alternos internos são iguais"), o ângulo B é igual ao ângulo A. Pela medida do comprimento da sombra em Alexandria, Eratóstenes concluiu que Siena estava a $A = B = 7^\circ$ na circunferência da Terra.



Olhando para o alto, do fundo do poço, na antiga Siena próxima à atual Abu Simbel, no Egito, que, de acordo com a tradição local, foi a fonte das pesquisas de Eratóstenes sobre a circunferência da Terra.

escreveu:

"Aqueles que retornaram de uma tentativa de circunavegar a Terra não dizem se foram impedidos por um continente oposto, pois o mar permanece perfeitamente aberto, talvez mais provável por resolução ou escassez de mantimentos... Eratóstenes diz que se a extensão do oceano Atlântico não é um obstáculo, deveríamos passar facilmente pelo mar da Ibéria para a Índia... É bem provável que na zona temperada haja uma ou duas Terras habitadas... Realmente, se esta outra parte do mundo é habitada, não o é por homens como os daqui, e deveremos considerá-la como um outro mundo habitado." Os seres humanos estavam começando a aventurar-se em quase todos os sentidos que importavam para outros mundos.

A exploração subsequente da Terra foi um empenho generalizado, incluindo viagens da e para a China e Polinésia. O ponto culminante foi, naturalmente, a descoberta da América por Cristóvão Colombo e as viagens dos séculos seguintes que completaram a exploração geográfica da Terra. A primeira viagem de Colombo está ligada nos aspectos mais diretos com os cálculos de Eratóstenes. Colombo era fascinado pelo que chamava de "O Empreendimento das Índias", um projeto para chegar ao Japão, China e Índia, mas não descendo a costa da África e velejando para o leste, mas sim mergulhando arrojadamente no desconhecido oceano a oeste, ou como tinha dito Eratóstenes com uma premonição admirável, atravessando o mar da Ibéria para a Índia.

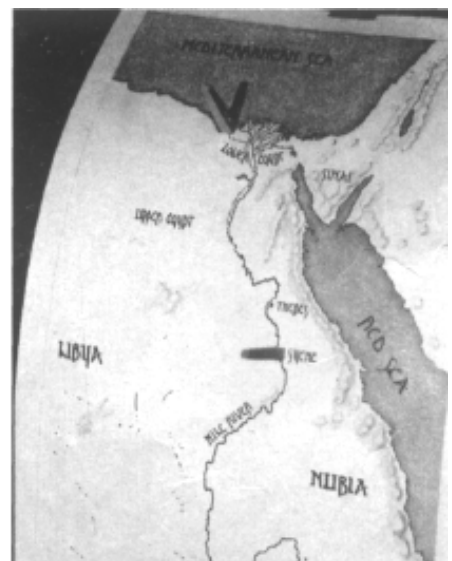
Colombo foi um mascate itinerante de velhos mapas e leitor assíduo dos livros de geógrafos e sobre geografia antiga, incluindo Eratóstenes, Estrabão e Ptolomeu. Mas para executar o



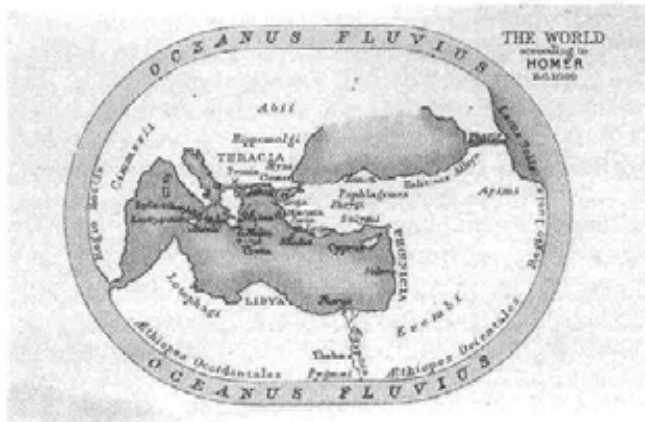
Mapa plano do antigo Egito. Quando o Sol está diretamente no alto, os obeliscos verticais não lançam sombras nem em Alexandria nem em Siena.



Mapa plano do antigo Egito. Quando o Sol não está diretamente acima, os obeliscos verticais lançam sombras de igual comprimento em Alexandria e em Siena.



Mapa curvo do antigo Egito. O Sol pode estar diretamente acima de Siena, mas não em Alexandria, justificando o fato de que o obelisco em Siena não produz sombra, enquanto que em Alexandria ela é pronunciada.



a



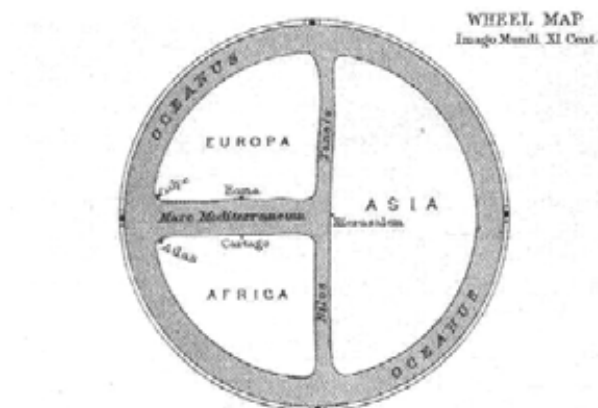
b



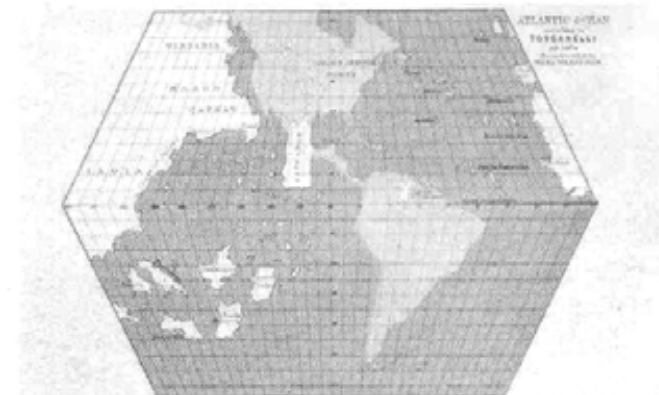
c



d



e



f

Empreendimento das índias, e assegurar a sobrevivência dos navios e tripulações na longa viagem, a Terra teria que ser menor do que tinha dito Eratóstenes. Colombo, então, alterou seus cálculos, como um exame dos membros da Universidade de Salamanca provou corretamente. Ele utilizou a menor circunferência possível da Terra e a maior extensão leste da Ásia que pôde descobrir em todos os livros disponíveis, e então exagerou ainda mais. Se as Américas não estivessem no caminho, Colombo teria fracassado totalmente.

A Terra está agora inteiramente explorada, não promete mais novos continentes ou terras perdidas. Mas a tecnologia que nos possibilita explorar e habitar as suas regiões mais remotas, permite-nos agora deixar o nosso planeta, aventurarmo-nos no espaço, explorar outros mundos. Deixando a Terra, somos agora

Mapas do mundo. Na época de Homero, pensava-se que o mundo não ultrapassava a bacia do Mediterrâneo (que significa "meio da Terra"), circundado por um oceano mundial. Eratóstenes e Ptolomeu acrescentaram progressos importantes. Por volta do século onze, o conhecimento geográfico antigo tinha sido preservado (estendido à China) pelos árabes, mas quase que totalmente perdido entre os europeus, que imaginavam uma Terra plana, centrada em Jerusalém. O último mapa antes da descoberta da América (*mostrado somente no plano geral*) é o do astrônomo florentino Toscanelli. Colombo, provavelmente, trouxe consigo este mapa na sua primeira viagem. O nome América, homenagem ao amigo de Colombo, Américo Vesputio, foi sugerido no livro de Waldseemüller (1507), *Introdução à Cosmografia*. Reprodução cortesia do Scottish Geographical Magazine.

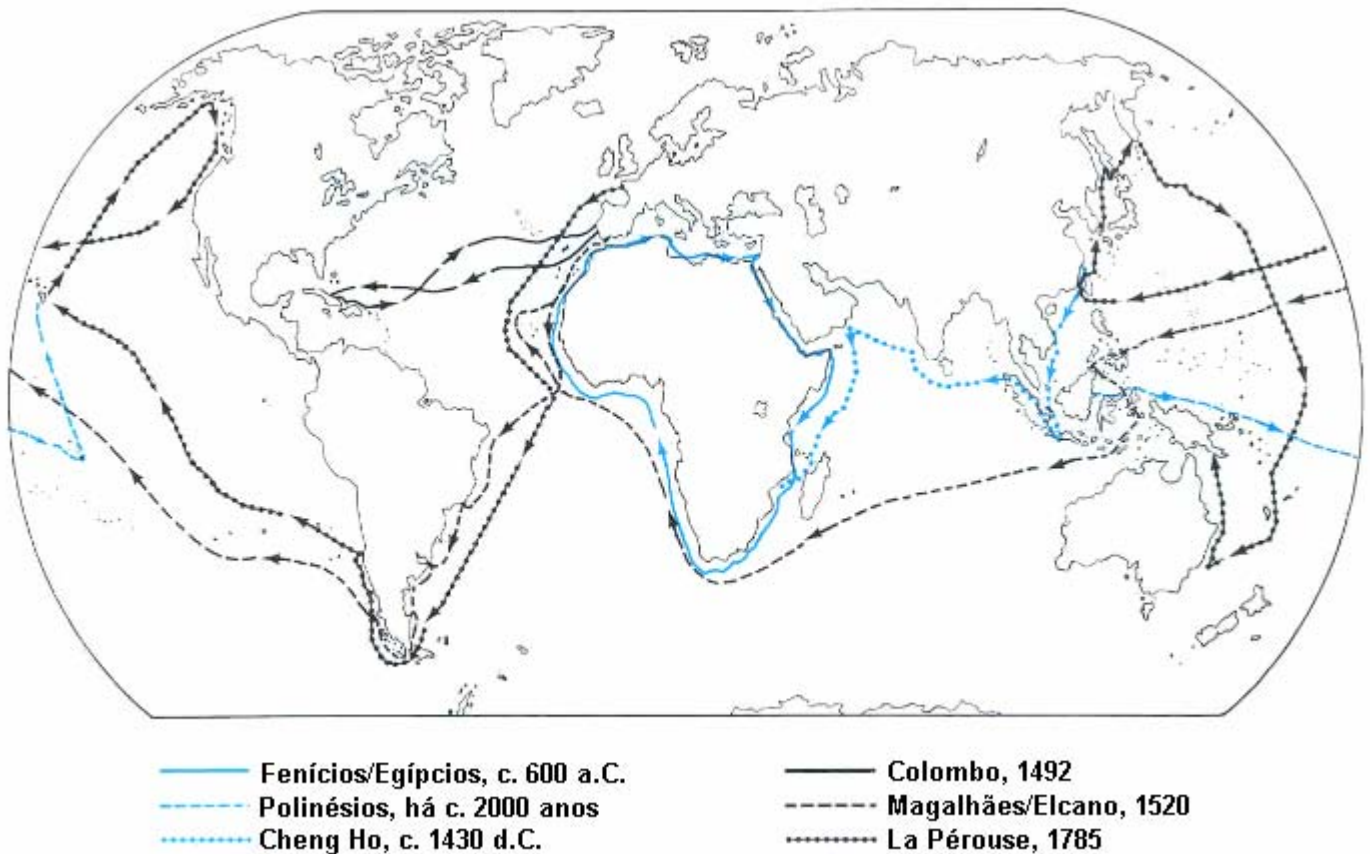
capazes de vê-la de cima, observar sua forma esférica e sólida das dimensões erasteanas e os contornos dos seus continentes, confirmando que muitos dos cartógrafos antigos eram admiravelmente competentes. Que prazer esta visão teria dado a Eratóstenes e aos outros geógrafos alexandrinos.

Foi em Alexandria, nos seiscentos anos após 300 a.C. que os seres humanos, em um aspecto importante, iniciaram a aventura intelectual que nos conduziu às fronteiras do espaço. Mas, da aparência e sensibilidade desta gloriosa cidade, nada restou. A opressão e o medo de aprender obliteraram quase toda a recordação da antiga Alexandria. Sua população era maravilhosamente diversificada. Macedônios e os últimos soldados romanos, sacerdotes egípcios, aristocratas gregos, navegadores fenícios, mercadores judeus, visitantes da Índia e de além do Saara africano, todos, exceto a vasta população escrava, conviviam juntos em harmonia e respeito mútuo pela maior parte do período de grandeza de Alexandria.

A cidade foi fundada por Alexandre, o Grande, e construída pela sua guarda-real. Alexandre incentivou o respeito pelas culturas estrangeiras e a busca sem restrições do conhecimento. De acordo com a tradição, e não importa muito se realmente aconteceu, ele desceu além do Mar Vermelho na primeira investida do mundo. Encorajou seus generais e soldados a casarem com mulheres persas e da Índia. Respeitou os deuses de outras nações. Coletou formas de vida exóticas, inclusive um elefante para Aristóteles, seu professor. Sua cidade foi construída de modo generoso para ser o centro mundial de comércio, cultura e aprendizagem. Foi embelezada com largas avenidas com trinta metros de largura, arquitetura e escultura elegantes, o túmulo monumental de Alexandre e um enorme farol, Faros, uma das sete maravilhas do mundo antigo.

Mas o maior prodígio de Alexandria era a biblioteca e seu museu (literalmente, instituição devotada a especialidades das Nove Musas). Desta biblioteca legendária, tudo o que resta hoje é um subterrâneo úmido e aquecido do anexo chamado Serapeu, a princípio um templo e posteriormente reconsagrado ao saber. Algumas prateleiras desintegrando-se devem ser o seu único remanescente físico, embora este local tenha sido, uma vez, o cérebro e a glória da maior cidade do planeta, a primeira instituição de pesquisa verdadeira na história do mundo. Os sábios da biblioteca estudaram o Cosmos inteiro. *Cosmos* é uma palavra grega que significa universo. Em um aspecto é o oposto do *Caos*. Implica em uma interconexão profunda com todas as coisas. Transmite respeito pelo modo intrincado e engenhoso de que o universo se organiza. Havia uma comunidade de eruditos explorando física, literatura, medicina, astronomia, geografia, filosofia, matemática, biologia e engenharia que resultou em ciências e saber. A genialidade floresceu. A Biblioteca de Alexandria foi o local onde nós, seres humanos, coletamos pela primeira vez, séria e sistematicamente, o conhecimento do mundo.

Além de Eratóstenes, havia um astrônomo chamado Hiparco, que fez os mapas das constelações e estimou o brilho das estrelas; Euclides, que tinha brilhantemente sistematizado a



geometria e dito ao seu rei, lutando contra um difícil problema matemático: "Não há um caminho real para a geometria"; Dionísio de Trácia, o homem que definiu as partes da oração e que fez pelo estudo da linguagem o que Euclides tinha feito pelo estudo da geometria; Herófilo, o fisiologista que determinou com firmeza que era o cérebro e não o coração a sede da inteligência; Héron de Alexandria, inventor da engrenagem dos trens e das máquinas a vapor, escreveu *Automata*, o primeiro livro sobre robôs. Apolônio de Perga, o matemático que demonstrou as formas das seções cônicas* — elipse, parábola e hipérbole — as curvas, que agora sabemos, seguidas em suas órbitas pelos planetas, cometas e estrelas; Arquimedes, o grande gênio da mecânica, até Leonardo da Vinci; e o astrônomo e geógrafo Ptolomeu, que compilou a maior parte do que hoje é a pseudociência da Astrologia: seu universo centrado na Terra permaneceu por 1500 anos, um aviso de que a capacidade intelectual não é uma garantia contra os enganos. E entre estes grandes homens havia uma grande mulher, Hipácia, matemática e astrônoma, o último resplendor da biblioteca, cujo martírio foi uma consequência da destruição da biblioteca, sete séculos após o seu início, uma história à qual retornaremos.

Os reis gregos do Egito que sucederam Alexandre levaram o ensino a sério. Por séculos, sustentaram a pesquisa e mantiveram, na biblioteca, um ambiente de trabalho para os melhores

Rotas exploratórias de algumas das grandes viagens de descobrimentos.

*Assim chamadas porque podiam ser produzidas dividindo-se um cone em vários ângulos. Dezoito séculos depois, os apontamentos de Apolônio sobre as seções cônicas puderam ser aproveitados por Johannes Kepler na primeira compreensão do movimento dos planetas.



Serápiã, um deus sintético, combinando atributos gregos e egípcios, introduzido no Egito por Ptolomeu I, no século III a.C. Usa um cetro e se faz acompanhar de Cérbero, o cão de três cabeças do inferno.



Alexandre, o Grande, com o cajado e o mangual, e a mitra faraônica, como devia aparecer na Biblioteca de Alexandria.



Os livros perdidos de Aristarco, como devem ter sido colocados nas prateleiras da Biblioteca de Alexandria.

cérebros da época. Ela continha dez grandes salas para pesquisa, cada uma dedicada a um assunto, fontes e colunas, jardins botânicos, um zoológico, salas para dissecação, um observatório e uma grande sala de jantar onde, nos momentos de lazer, se davam as discussões críticas das idéias.

O coração da biblioteca era a sua coleção de livros. Os organizadores pesquisaram todas as culturas e línguas do mundo. Enviavam agentes por toda a parte para comprar bibliotecas. Navios comerciais que aportavam em Alexandria eram vasculhados pela polícia, não à procura de contrabando, mas sim de livros. Os pergaminhos eram emprestados, copiados e enviados de volta aos seus donos. Números preciosos são difíceis de serem estimados, mas parece provável que a biblioteca continha meio milhão de volumes, cada um deles um pergaminho de papiro escrito a mão. O que terá acontecido a todos esses livros? A civilização clássica que os criou se desintegrou, e a biblioteca foi deliberadamente destruída. Somente uma pequena parte destes trabalhos escapou junto com uns poucos fragmentos espalhados. E como nos são eles dolorosos! Sabe-mos, por exemplo, que havia nas prateleiras da biblioteca um livro do astrônomo Aristarco de Samos, que questionava ser a Terra um dos planetas e que, como eles, orbitava em torno do Sol, e que as estrelas estavam a distâncias enormes. Cada uma dessas conclusões está inteiramente correta, mas tivemos de esperar perto de dois mil anos para a redescoberta. Se multiplicarmos por cem mil nossa sensação de perda desse trabalho de Aristarco, começaremos a apreciar a grandiosidade da façanha da civilização clássica e a tragédia da sua destruição.

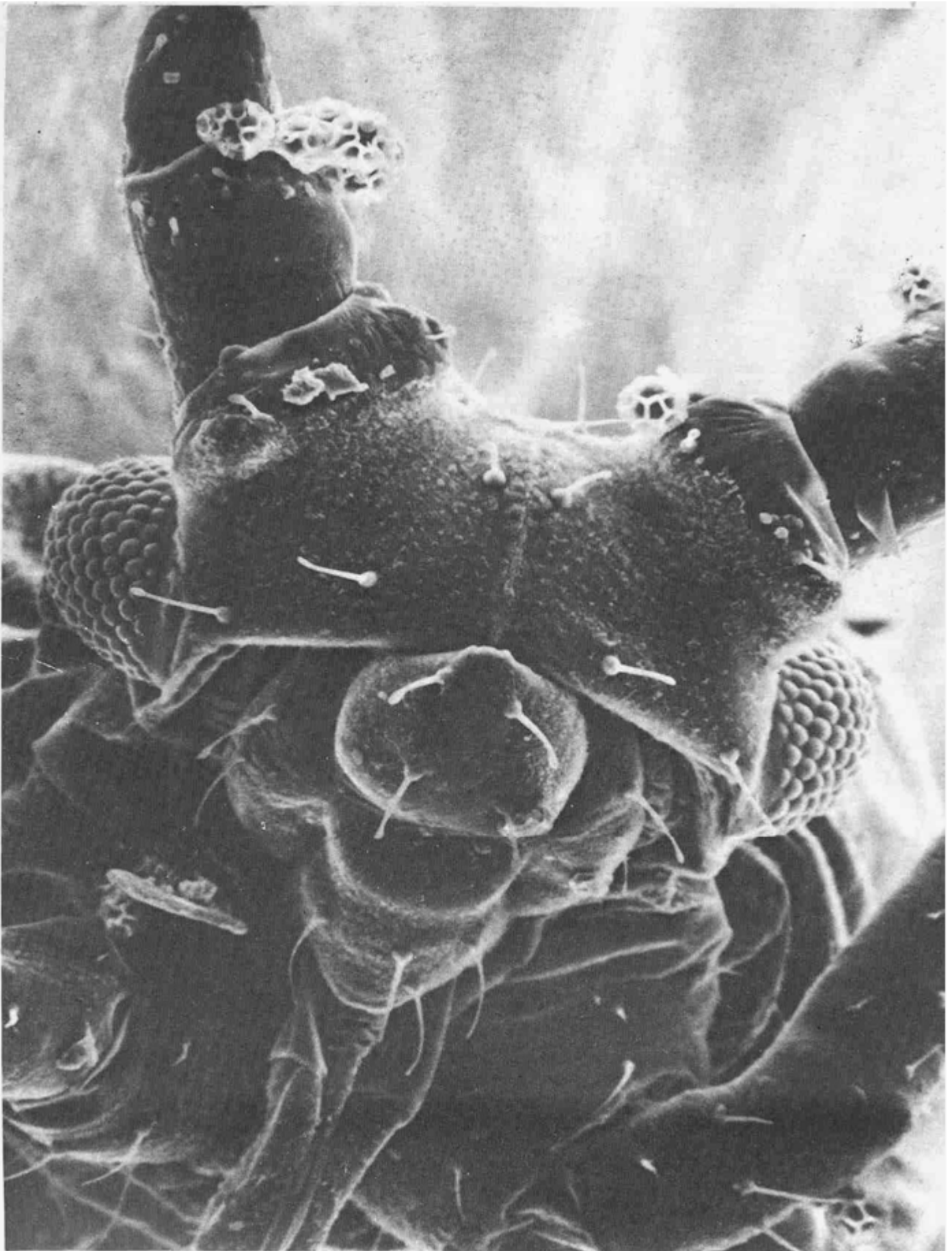
Suplantamos em muito a ciência manuseada pelo mundo antigo, mas há hiatos irreparáveis em nosso conhecimento histórico. Imaginemos que mistérios sobre o nosso passado poderiam ser resolvidos através de um empréstimo da biblioteca de Alexandria. Temos conhecimento de três volumes sobre a história do mundo, agora perdidos, de um sacerdote babilônio chamado Berossus. O primeiro volume tratava do intervalo entre a Criação e o Dilúvio, período este tido por ele como tendo sido de 432.000 anos ou cerca de cem vezes maior do que a cronologia do Antigo Testamento. Eu me pergunto o que encontraria nele.

Os antigos sabiam que o mundo era muito velho. Eles buscavam penetrar no passado distante. Sabemos agora que o Cosmos é bem mais antigo do que eles jamais imaginaram. Temos examinado o universo no espaço e visto que vivemos em uma partícula de poeira circulando em torno de uma estrela monótona no canto mais remoto de uma galáxia obscura. E se somos um ponto na imensidão do espaço, ocupamos também um instante na expansão das épocas. Sabemos agora que o nosso universo, ou pelo menos a sua personificação mais recente tem cerca de quinze a vinte bilhões de anos de existência. Este é o tempo desde um evento explosivo extraordinário, chamado A Grande Explosão (*Big Bang*). No início deste universo, não havia galáxias, estrelas ou planetas, vida ou civilizações, meramente uma bola de fogo radiante e uniforme preenchendo todo o espaço. A passagem do Caos da Grande Explosão para o Cosmos



que estamos começando a conhecer é a transformação mais ateradora da matéria e da energia que tivemos o privilégio de vislumbrar. E até que descobramos, em algum local, seres mais inteligentes, somos a mais espetacular de todas as transformações, remotos descendentes da Grande Explosão, dedicados à compreensão e à posterior transformação do Cosmos do qual proviemos.

A Grande Sala da antiga Biblioteca de Alexandria, no Egito. Reconstrução baseada em evidências decorrentes das pesquisas.



Vida na Terra: Fotomicrografia eletrônica de varredura de um gorgulho, com pólen de hibisco. Cortesia de Jean-Paul Revel, California Institute of Technology.



Capítulo II

UMA VOZ NA FUGA CÓSMICA

Fui ordenado a me entregar ao Senhor dos Mundos.
Ele que criou a ti do pó...

— O Alcorão, Sura 40

A mais antiga de todas as filosofias, a da Evolução, estava confinada em todos os aspectos na escuridão completa durante o milênio do escolasticismo teológico. Porém, Darwin verteu sangue novo na antiga estrutura; os vínculos se romperam e o pensamento revivificado da Grécia antiga provou ser a expressão mais adequada da ordem universal das coisas do que qualquer outro esquema aceito pela credulidade e bem recebido pela superstição das últimas 70 gerações de homens.

— T. H. Huxley, 1887

Provavelmente todos os seres orgânicos que já existiram nesta terra descendem de alguma forma primordial, na qual a vida foi anteriormente revelada... Há grandiosidade nesta visão da vida... que, enquanto este planeta gira, de acordo com a lei imutável da gravidade, de um começo tão simples, formas infindáveis, as mais belas e perfeitas, evoluíram e estão ainda evoluindo.

— Charles Darwin, a *Origem das Espécies*, 1859

Parece existir uma comunidade de matéria em todo o universo visível, pois as estrelas contêm muitos dos elementos que existem no Sol e na Terra. É extraordinário que os elementos mais amplamente difusos entre as legiões de estrelas estejam alguns deles intimamente ligados aos organismos vivos do nosso globo, incluindo hidrogênio, sódio, magnésio e ferro. Não será possível que, pelo menos, as estrelas mais brilhantes sejam como o nosso Sol, os centros de sustentação e energização dos sistemas dos mundos, adaptadas para serem a morada dos seres vivos?

— William Huggins, 1865



Nuvem escura de poeira interestelar. Estes complexos de nuvens são repletos de gases orgânicos simples; os próprios grãos de poeira que a formam podem, em parte, ser compostos de moléculas orgânicas. Criação de Adolf Schaller.

DURANTE TODA A MINHA VIDA TENHO-ME PERGUNTADO sobre a possibilidade de vida em outros locais. Como será ela? De que será formada? Todas as coisas vivas em nosso planeta são construídas de moléculas orgânicas — arquiteturas microscópicas complexas nas quais o átomo de carbono desempenha um papel central. Houve um tempo, antes da vida, em que a Terra era árida e inteiramente desolada. No nosso mundo há agora uma superabundância de vida. Como será que aconteceu? Como, na ausência de vida, foram formadas as moléculas orgânicas com base de carbono? Como se originaram as primeiras formas vivas? Como a vida evoluiu para produzir seres tão elaborados e tão complexos como nós, capazes de explorar o mistério de nossas próprias origens?

E nos outros incontáveis planetas que giram em torno de outros sóis, também haverá vida? A vida extraterrestre, se existir, será baseada nas mesmas moléculas orgânicas da vida na Terra? Será que os seres de outros mundos se parecem com os da Terra? Ou serão muito diferentes — outras adaptações a outros ambientes? O que mais será possível? A natureza da vida na Terra e a procura da vida em outros locais são os dois aspectos da mesma pergunta — a procura de quem nós somos.

Na escuridão entre as estrelas existem nuvens de gás e poeira e matéria orgânica. Nelas foram encontradas, pelos rádio-telescópios, dúzias de tipos diferentes de moléculas orgânicas. A abundância dessas moléculas sugere que a essência da vida esteja em toda a parte. Talvez a origem e a evolução da vida, havendo tempo suficiente, seja uma inevitabilidade cósmica. Em alguns desses bilhões de planetas na Via-láctea, a vida pode nunca despontar. Em outros talvez desponte e se extinga, ou nunca evolua além das suas formas mais simples. E em algumas pequenas porções de mundos ela poderá desenvolver inteligências e civilizações mais adiantadas do que a nossa.

De vez em quando alguém observa a feliz coincidência que há no fato da Terra ser perfeitamente adaptada à vida — temperaturas moderadas, água em estado líquido, atmosfera com oxigênio, e assim por diante. Isto é, pelo menos em parte, uma confusão de causa e efeito. Nós, produtos da Terra, estamos supremamente bem adaptados ao seu ambiente porque crescemos aqui. As formas iniciais de vida, que não se adaptaram bem, morreram. Somos descendentes dos organismos bem-sucedidos. Os organismos que evoluíram em um mundo diferente, sem dúvida, também tecem seus elogios.

Toda a vida da Terra está intimamente interligada. Possuímos uma química orgânica e uma herança evolutiva comuns. Como consequência, nossos biólogos são profundamente limitados. Estudam somente um único tipo de biologia e um único tema na música da vida. Será este débil e agudo tom a única voz para milhares de anos-luz? Ou existirá um tipo de fuga cósmica, com temas e contrapontos, dissonâncias e harmonias, um bilhão de vezes diferentes participando da música da vida da Galáxia? Deixe-me contar a vocês um pequeno verso da música da vida na Terra. No ano de 1185, o imperador do Japão era um menino de sete anos de idade chamado Antoku. Era um líder nominal

de um clã de samurais chamado os Heike que estavam engajados em uma longa e sangrenta guerra com outro clã, os Genji. Cada um afirmava sua reivindicação ancestral superior ao trono imperial. Seu combate naval decisivo, com o imperador a bordo de um navio, se deu em Danno-ura, no Mar Interior do Japão a 24 de abril de 1185. Os Heike eram sobrepujados em número e em embarcações. Muitos foram mortos. Os sobreviventes, em grande número, se atiraram ao mar e se afogaram. A Senhora Nii, avó do imperador, resolveu que ela e Antoku não seriam capturados pelo inimigo. O que aconteceu depois é narrado na *História dos Heike*:

O Imperador tinha sete anos de idade, mas parecia bem mais velho. Era tão adorável que parecia irradiar uma luz brilhante, e seu longo cabelo preto caía solto em suas costas. Com um olhar de surpresa e ansiedade em sua face ele perguntou à Senhora Nii: "Para onde me levas?".

Ela se virou para o jovem soberano, com lágrimas descendo pela face, e abraçou-o, prendendo seu longo cabelo em sua túnica bordada de pombos. Cego pelas lágrimas, o jovem soberano juntou suas belas e pequeninas mãos. Virou-se primeiro para leste para se despedir do deus de Ise, e então para oeste para repetir o Nembutsu [uma prece para o Buda Amida]. A Senhora Nii apertou-o nos braços e com as palavras "No fundo do oceano está o nosso templo", mergulhou com ele entre as ondas.

Toda a esquadra de guerra Heike foi destruída. Somente quarenta e três mulheres sobreviveram. Estas damas de honra da corte imperial foram forçadas a vender flores e a fazer outros favores aos pescadores, próximo ao local da batalha. Os Heike quase que desapareceram da história. Mas a ralé da primeira geração das damas de honra com os pescadores organizou um festival para comemorar a batalha, que se realiza no dia vinte e quatro de abril de cada ano, até hoje. Os pescadores descendentes dos Heike se vestem de cânhamo e usam um chapéu preto, e dirigem-se ao santuário de Akama que encerra o mausoléu do imperador afogado. Lá assistem a uma peça que retrata os eventos que se seguiram à batalha de Danno-ura. Séculos depois, as pessoas imaginavam que podiam discernir espectros de armas samurais esforçando-se inutilmente para varrer o mar e limpá-lo do sangue, defendendo-o da humilhação.

Os pescadores dizem que os samurais Heike ainda vagueiam pelo fundo do Mar Interior em forma de caranguejo. Há caranguejos encontrados com marcas curiosas em suas carapaças, com padrões e recortes que lembram a face de um samurai. Quando apanhados não são comidos, mas mandados de volta ao mar em comemoração aos tristes eventos de Danno-ura.

Esta lenda levanta um problema. Como acontece da face de um guerreiro ser gravada na carapaça de um caranguejo? A resposta seria que seres humanos teriam-na esculpido. Os padrões da carapaça são herdados, mas entre os caranguejos, como com as pessoas, há muitas linhagens diferentes. Suponha-mos que, por acaso, entre os ancestrais distantes deste caranguejo exista um com um padrão que lembra ligeiramente uma face humana.



Um Samurai do Japão feudal em seu traje guerreiro. Na literatura japonesa, *A História de Heike* encerra um significado comparável ao da *Ilíada* na literatura ocidental. Cortesia de C. C. Lee.



Um caranguejo heike do Mar Interior do Japão.

Mesmo antes da batalha de Danno-ura, os pescadores relutavam em comer tais caranguejos. Atirando-os de volta ao mar, eles iniciaram um processo evolucionário: Se é um caranguejo com uma carapaça comum, os homens o comerão. Sua linhagem deixará poucos descendentes. Se a carapaça tiver os traços de uma face, eles o devolverão ao mar, deixando mais descendentes. Os caranguejos possuíam um revestimento substancial nos padrões das suas carapaças. Enquanto as gerações de pescadores e de caranguejos se sucediam, os portadores de carapaças com padrões que mais se assemelhavam à face de um samurai sobreviviam até que, eventualmente, produziu-se não apenas uma face humana, não apenas uma face japonesa, mas a visão de um feroz e ameaçador samurai. Tudo isto não diz respeito ao que os caranguejos querem. A seleção é imposta exteriormente. Quanto maior a semelhança com um samurai, melhores as chances de sobrevivência. Casualmente começaram a existir muitos caranguejos-samurais.

Este processo é chamado de seleção artificial. No caso do caranguejo Heike, foi efetuada, em parte inconscientemente, pelos pescadores, e certamente sem nenhuma contemplação séria pelos caranguejos. Os homens têm, de modo deliberado, selecionado que tipos de plantas e animais devem viver e quais devem morrer, por milhares de anos. Estamos rodeados desde a infância por frutas, árvores, vegetais e animais domésticos úteis e familiares. De onde eles vieram? Existiram livremente em estado agreste e então foram induzidos a adotar uma vida menos extenuante em uma fazenda? Não. A verdade é bem diferente. A maioria deles é feita por nós.

Dez mil anos atrás, não havia vacas leiteiras ou cães de caça ou cereais de espigas grandes. Quando domesticamos os ancestrais destas plantas e animais — algumas vezes bem diferentes das de agora — controlamos as suas proles. Asseguramos de que certas variedades, que apresentavam propriedades consideradas desejáveis, eram reproduzidas preferencialmente. Quando precisávamos de um cão para ajudar a tomar conta do rebanho, selecionávamos crias inteligentes e dóceis, e que tinham algum talento preexistente para guardar o gado, o que é comum em animais que caçam em matilha. Os enormes úberes distendidos do gado leiteiro são o resultado de um interesse humano em leite e queijo. Nossos cereais, ou milho, têm sido selecionados por dez mil gerações para serem mais saborosos e nutritivos do que seus minguados ancestrais; na verdade, eles se encontram tão alterados que não podem nem reproduzir sem a intervenção humana.

A essência da seleção artificial — para um caranguejo Heike, um cão, vaca ou espiga — é: Muitos traços físicos e comportamentais de plantas e animais são herdados. Eles se reproduzem. Os seres humanos, por qualquer que seja a razão, encorajam a reprodução de algumas variedades e desencorajam a de outras. A variedade selecionada preferencialmente reproduz e casualmente se torna abundante; a não selecionada se torna rara e talvez extinta.

Mas se os seres humanos podem criar novas variedades de plantas e animais, não o poderá também a natureza? Sim, e

este processo chama-se seleção natural. Aquela vida que foi alterada fundamentalmente ao longo das eras está inteiramente livre das alterações que fizemos nos animais selvagens e nos vegetais durante o curto exercício dos seres humanos na Terra e das evidências fósseis. Os registros fósseis nos revelam claramente criaturas que existiam em grandes quantidades e que agora desapareceram por completo.* Há muito mais espécies que se tornaram extintas na história da Terra do que as que existem hoje; elas são os experimentos completados da evolução.

As alterações genéticas induzidas pela domesticação ocorreram com muita rapidez. O coelho não foi domesticado senão no início dos tempos medievais (foi criado por monges franceses na crença de que os coelhinhos recém-nascidos eram peixes e, conseqüentemente, isentos das proibições contra a carne a ser consumida em determinados dias do calendário litúrgico); o café foi utilizado no século XV; a beterraba no XIX; e o *mink* ainda se encontra nos estágios iniciais da domesticação. Em menos de dez mil anos, a domesticação aumentou o peso da lã dos carneiros de menos de um quilograma de pêlos ásperos para dez ou vinte quilogramas de lanugem fina; ou o volume do leite produzido pelo gado durante o período de lactação, de algumas centenas para um milhão de centímetros cúbicos. Se a seleção artificial pode levar a alterações tão importantes em um período de tempo, do que será capaz a seleção natural, trabalhando por bilhões de anos? A resposta é toda a beleza e diversidade do mundo biológico. A evolução é um fato, não uma teoria.

Que o mecanismo da evolução é a seleção natural é a grande descoberta associada aos nomes de Charles Darwin e Alfred Russel Wallace. Há mais de um século, eles salientaram que a natureza é prolífica, que nascem muito mais plantas e animais do que os que apresentam possibilidade de sobrevivência, e que, portanto, o ambiente seleciona as variedades que são, por acidente, melhor adaptadas para a sobrevivência. As mutações — alterações súbitas na hereditariedade — procriam a verdade. Fornecem a matéria-prima da evolução. O ambiente seleciona algumas mais propícias à sobrevivência, resultando em uma série de transformações lentas e uma forma de vida para outra, a origem de novas espécies.**

Disse Darwin, no seu livro *A Origem das Espécies*:

*Embora a opinião religiosa tradicional do Ocidente mantenha, com estoicismo, o contrário, como por exemplo, a opinião de 1770 de John Wesley: "À morte nunca é permitida a destruição (mesmo) das espécies mais insignificantes".

**No livro sagrado dos maias, o Popol Vuh, as várias formas de vida são descritas como tentativas fracassadas dos deuses, com uma predileção por experiências com pessoas. As iniciais ficaram muito aquém do esperado, criando os animais inferiores; a penúltima, uma falha menor, fez os macacos. Na mitologia chinesa, os seres humanos surgiram dos piolhos de um deus chamado P'an Ku. No século XVIII, de Buffon propôs que a Terra era muito mais antiga do que as Escrituras sugeriam, que as formas da vida, de alguma maneira, tinham lentamente se alterado através dos milênios, mas que os símios eram os descendentes esquecidos do homem. Embora estas noções não reflitam com precisão o processo evolucionário descrito por Darwin e Wallace, são uma antecipação dele, como o foram as visões de Demócrito, Empédocles e outros primeiros cientistas jônicos que serão discutidos no Capítulo VII.

O homem não produz realmente a variabilidade; somente sem intenção expôs seres orgânicos a novas condições de vida e, então, a Natureza agiu na organização e causou a variabilidade. Mas o homem pode e seleciona as variações dadas a ele pela Natureza e, então, as acumula da maneira desejada. Assim adapta animais e plantas em seu próprio benefício e prazer. Pode fazer isto de modo metódico ou inconsciente preservando as espécies mais úteis a ele em uma época, sem nenhum pensamento em alterar a prole... Não há razão óbvia por que os princípios que agiram com tanta eficiência na domesticação não atuassem em Natureza... Nasceram mais indivíduos do que os que podem sobreviver... A mínima vantagem de um ser, em qualquer idade ou estação, sobre aqueles com os quais compete ou a sua melhor adaptação em qualquer grau às condições ambientais, inverterá o equilíbrio.

T. H. Huxley, o mais ativo defensor e popularizador da evolução, do século XIX, escreveu que as publicações de Darwin e Wallace eram um "clarão de luz o qual, para um homem que tivesse se perdido em uma noite escura, repentinamente revelaria um caminho que, levando-o ou não direto para casa, com certeza iria na sua direção... Minha conclusão, quando pela primeira vez assimilei a idéia central de *A Origem das Espécies* foi: 'Como é extremamente estúpido não se ter pensado nisto!' Suponho que os companheiros de Colombo também tenham dito o mesmo. Os aspectos da variabilidade, do esforço da existência, da adaptação a condições eram notoriamente suficientes, mas nenhum de nós notou que o caminho para o âmago do problema das espécies estava entre elas, até que Darwin e Wallace dissipassem a escuridão".

Muitas pessoas se escandalizaram — algumas ainda hoje — com ambas as idéias de evolução e seleção natural. Nossos ancestrais olharam para a correção da vida na Terra, e como as estruturas dos organismos eram apropriadas às suas funções, e viram evidências de um Grande Projetista. O organismo unicelular mais simples é uma máquina mais complexa do que o mais refinado relógio de bolso. E relógios de bolso não se automontam espontaneamente, ou evoluem, em estágios lentos e por si próprios, digamos assim, de seus relógios-avós. Um relógio implica em um relojoeiro. Parece não haver um modo pelo qual átomos e moléculas possam, de alguma forma espontaneamente, se juntar para criar organismos de uma complexidade aterradora e funcionamento engenhoso como todas as regiões da Terra. Que cada coisa viva foi especialmente planejada, que uma espécie não se transformou em outra eram noções perfeitamente consistentes com as que nossos ancestrais, com seus limitados registros históricos, sabiam sobre a vida. A idéia que cada organismo era meticulosamente construído por um Grande Projetista proporcionava um significado e ordem à natureza, e uma importância aos seres humanos que nós ansiamos ainda hoje. Um Projetista é uma explicação natural, cativante e inteiramente humana do mundo biológico. Mas como Darwin e Wallace mostraram, há um outro modo, igualmente cativante, igualmente humano e bem mais lógico:

seleção natural, que torna a música da vida mais bonita à medida que o tempo passa.

As evidências fósseis podem ser consistentes com a idéia de um Grande Projetista; talvez algumas espécies sejam destruídas quando o Projetista fica insatisfeito com elas, e sejam tentados novos experimentos em um projeto aperfeiçoado. Mas esta noção é um pouco desconcertante. Cada planta e animal é formado de modo primoroso. Será que um Projetista muito competente não foi capaz de fazer uma variedade pretendida desde o início? O registro fóssil implica em ensaio e erro, em capacidade para antecipar o futuro, aspectos inconsistentes com um Grande Projetista eficiente (embora não com um Projetista de temperamento mais remoto e indireto).

Quando eu era aluno ainda não graduado, no início da década de 50, tive a felicidade de trabalhar no laboratório de H. J. Muller, um grande geneticista e o homem que descobriu que a irradiação produzia mutações. Muller foi quem primeiro chamou minha atenção sobre o caranguejo Heike como um exemplo de seleção artificial. Para aprender o lado prático da genética, passei muitos meses trabalhando com moscas e frutas, as *Drosophila melanogaster* (que significa amante do orvalho de corpo negro) — pequenos seres benignos com duas asas e grandes olhos. Nós as mantínhamos em garrafas de leite de meio litro. Podíamos cruzar duas variedades e observar as novas formas que surgiam da rearrumação dos gens paternos e das mutações naturais e induzidas. As fêmeas depositavam seus ovos em um tipo de melaço que os técnicos inseriam nas garrafas que eram tamponadas. Esperávamos duas semanas para os ovos fertilizados se transformarem em larvas, as larvas em crisálidas e as crisálidas emergirem como novas moscas de frutas adultas.

Um dia eu estava olhando através de um microscópio binocular de pouca ampliação pertencente a um grupo recentemente chegado de *Drosophilas* adultas imobilizadas com um pouco de éter, e estava ocupado separando as diferentes variedades com um pincel de pêlo de camelo. Para minha surpresa, encontrei algo muito diferente, não uma pequena variação como olhos vermelhos ao invés de brancos, ou cerdas no pescoço ou nenhuma cerda. Era um outro tipo de criatura com asas muito mais proeminentes e longas antenas plumosas, e parecia muito bem. O destino tinha ajeitado, concluí, um exemplo de uma alteração evolucionária importante em uma simples geração; a única coisa que Muller tinha dito que jamais aconteceria, tinha acontecido em seu próprio laboratório. Foi uma tarefa difícil para mim relatar a ele.

Com o coração pesado bati em sua porta. "Entre", disse uma voz de choro abafada. Entrei e descobri a sala às escuras, exceto por uma única lâmpada pequena iluminando a plataforma do microscópio em que ele trabalhava. Tropecei na minha explicação: — "Encontrei um tipo muito diferente de mosca. Tenho certeza de que emergiu de uma das pupas no melaço. Não pretendo incomodá-lo, Muller, mas..." "Assemelha-se mais a uma Lepidoptera ou com uma Diptera?", perguntou ele, sua face iluminada por baixo. Não entendi o que quis dizer, por isso tive de explicar. "Tem

antenas plumosas?". Com mau humor, assenti.

Muller virou a cabeça acima da luz e sorriu com benevolência. Era uma velha história. Havia um tipo de mariposa que tinha se adaptado à *Drosophila* de laboratórios genéticos. Não se assemelhava a uma mosca de fruta, nem queria nada com elas, mas sim o seu melaço. No breve espaço de tempo que o técnico do laboratório levou para destampar e tampar a garrafa de leite ou para colocar as moscas de frutas, por exemplo, a mariposa-mãe formou uma passagem na bomba de imersão depositando seus ovos no saboroso melaço. Eu não tinha descoberto uma macromutação, mas meramente havia me deparado com outra adorável adaptação em natureza, ela própria produto de micro-mutação e seleção natural.

Os segredos da evolução são morte e tempo — mortes de várias formas de vida imperfeitamente adaptadas ao ambiente e tempo para uma longa sucessão de pequenas mutações que eram, *por acidente*, adaptativas, tempo para o lento acúmulo de padrões de mutações favoráveis. Parte da resistência a Darwin e Wallace deriva da nossa dificuldade em imaginar a passagem dos milênios, quanto mais das eras. O que significam setenta milhões de anos para seres que vivem somente um milionésimo dele? Somos como borboletas que esvoaçam por um dia e julgam ser por todo o sempre.

O que acontece aqui na Terra pode ser mais ou menos típico da evolução da vida em muitos mundos, mas em detalhes como a química das proteínas ou a neurologia dos cérebros, a história da vida na Terra pode ser única em toda a Via-láctea. A Terra se condensou do gás e poeira interestelares há mais ou menos 4,6 bilhões de anos. Sabemos, através dos registros fósseis, que a origem da vida aconteceu logo depois, talvez em torno de 4 bilhões de anos atrás, nos lagos e oceanos da Terra primitiva. As primeiras formas vivas não eram tão complexas como um organismo unicelular, já uma forma de vida altamente sofisticada. As primeiras atividades foram muito mais despretensiosas. Naquele tempo, o relâmpago e a luz ultravioleta do Sol estavam separando as moléculas simples, ricas em hidrogênio, da atmosfera primitiva, os fragmentos espontaneamente recombinando-se em moléculas mais e mais complexas. Os produtos desta química incipiente eram dissolvidos nos oceanos, originando um tipo de caldo orgânico de complexidade gradualmente maior, até que um dia, quase que por acidente, apareceu uma molécula capaz de fazer cópias grosseiras de si mesma, utilizando como blocos de construção outras moléculas no caldo. (Retornaremos posteriormente a este assunto.)

Este foi o primeiro ancestral do ácido desoxirribonucléico, o ADN, a molécula principal da vida na Terra. Tem a forma parecida com uma escada torcida em hélice, os degraus disponíveis em quatro partes moleculares diferentes, que constituem as quatro letras do código genético. Estes degraus, chamados nucleotídeos, decifram as instruções hereditárias para a formação de um determinado organismo. Cada forma de vida na Terra possui um grupo diferente de instruções, escritas essencialmente na

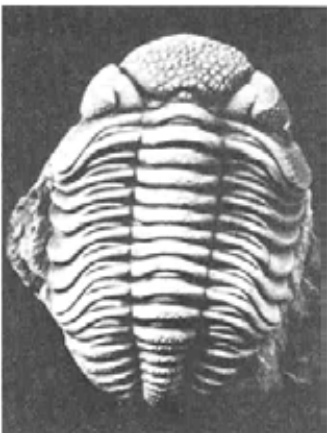
mesma linguagem. A razão pela qual os organismos são diferentes está nas diferenças das suas instruções do ácido nucléico. Uma mutação é uma alteração em um nucleotídeo, copiado na geração seguinte que procria com legitimidade. Uma vez que as mutações são alterações *casuais* no nucleotídeo, a maioria delas é perigosa ou letal, codificando para a existência enzimas não-funcionais. É uma longa espera até que uma mutação faça um organismo trabalhar melhor. Não obstante seja este evento improvável, uma pequena mutação benéfica em um nucleotídeo de um décimo de milionésimo de um centímetro de comprimento é que faz a evolução prosseguir.

Há quatro bilhões de anos, a Terra era um Jardim do Éden molecular. Até então não havia predadores. Algumas moléculas se reproduziam de maneira ineficiente, limitadas pelos blocos de construção e deixando cópias grosseiras de si mesmas. Através da reprodução, mutação e eliminação seletiva das variedades menos eficientes, a evolução se processava, até mesmo no nível molecular. À medida que o tempo passava, elas se aprimoraram em sua reprodução. Moléculas com funções especializadas casualmente se juntaram, formando um tipo de coletividade molecular — a primeira célula. As células vegetais de hoje possuem fábricas moleculares diminutas, chamadas cloroplastos, responsáveis pela fotossíntese — a conversão da luz solar, água e dióxido de carbono em carboidratos e oxigênio. As células em uma gota de sangue encerram um tipo diferente de fábrica molecular, as mitocôndrias, que combinam alimento com oxigênio para extrair a energia útil. Estas fábricas existem nas células vegetais e animais atuais, mas podem um dia ter sido células de vida própria.

Há três bilhões de anos, alguns vegetais unicelulares se uniram, talvez porque uma mutação tenha evitado que uma célula se separasse após a divisão em duas. Os primeiros organismos multicelulares evoluíram. Cada célula em seu corpo é um tipo de comunidade, com as partes de vida própria anterior unidas para um benefício comum. E você é composto de centenas de trilhões de células. Somos, cada um de nós, uma multidão.

O sexo parece ter sido inventado em torno de dois bilhões de anos passados. Anteriormente, as novas variedades de organismo podiam surgir somente através do acúmulo de mutações fortuitas — seleção das alterações, letra por letra, nas instruções genéticas. A evolução devia estar agonizantemente lenta. Com o advento do sexo, dois organismos poderiam trocar parágrafos inteiros, páginas e livros do seu código de ADN, produzindo novas variedades prontas para o crivo da seleção. Os organismos são selecionados para engajar-se no sexo — aqueles que o acham desinteressante logo se tornam extintos. Isto é verdade não somente para os micróbios de há dois bilhões de anos. Nós, seres humanos, também hoje em dia apresentamos uma devoção palpável para a troca de segmentos do ADN.

Há um bilhão de anos os vegetais, trabalhando cooperativamente, fizeram uma alteração espantosa no meio ambiente da Terra. As plantas verdes geraram oxigênio molecular. Uma vez que os oceanos estavam cheios de plantas verdes e despertenciosas,



Fósseis trilobitas. Acima, três espécies cegas, de meio bilhão de anos. No centro e abaixo, espécies posteriores mais desenvolvidas, com os olhos admiravelmente preservados. Os trilobitas são um dos muitos resultados da explosão cambriana. Reimpresso de *Trilobitas*, de Ricardo Levi-Setti, com permissão da University of Chicago Press. Copyright © 1975 by the University of Chicago.

o oxigênio se tornou o principal constituinte da atmosfera terrestre, alterando-a irreversivelmente da sua característica original rica em hidrogênio e terminando com a época da história da Terra, quando a essência da vida era formada por processos não-biológicos. Mas o oxigênio tendia a dispersar as moléculas orgânicas. A despeito do nosso afeto, ele é fundamentalmente um veneno para a matéria orgânica desprotegida. A transição para uma atmosfera oxidante originou uma crise tremenda na história da vida, e a maioria dos organismos, incapaz de competir com o oxigênio, pereceu. Poucas formas primitivas, como os bacilos do botulismo e do tétano, conseguem sobreviver, mesmo hoje, somente em ambientes livres de oxigênio. O nitrogênio na atmosfera terrestre é muito mais quimicamente inerte, e portanto, muito mais benigno que o oxigênio. Mas ele também é biologicamente mantido. Assim, 99% da atmosfera da Terra são de origem biológica. O céu é feito de vida.

Na maior parte dos quatro bilhões de anos desde a origem da vida, os organismos dominantes eram algas azul-esverdeadas microscópicas que cobriam e preenchiam os oceanos. Então, há 600 milhões de anos, o poder monopolizante das algas foi quebrando e emergiu uma proliferação de novas formas de vida, um evento chamado explosão cambriana. A vida surgiu quase que imediatamente após a origem da Terra, o que sugere que a vida pode ser um processo químico inevitável em um planeta como a Terra. Mas a vida não evoluiu muito além das algas azul-esverdeadas por três bilhões de anos, o que sugere que formas de vida grandes, com órgãos especializados, são difíceis de evoluir, mais difíceis até do que a origem da vida. Talvez haja muitos outros planetas que hoje possuam micróbios em abundância, mas não animais e vegetais grandes.

Logo após a explosão cambriana, os oceanos transbordavam com muitas formas de vida diferentes. Em torno de 500 milhões de anos havia vastos rebanhos de trilobitas, animais belamente construídos, lembrando um pouco insetos grandes; alguns caçavam em grupos no leito do oceano. Acumulavam cristais em seus olhos para detectar a luz polarizada. Não há trilobitas vivos hoje e nem nos últimos 200 milhões de anos. A Terra foi habitada por animais e vegetais dos quais não há nenhum vestígio. E, naturalmente, muitas espécies agora no planeta não existiam antes. Não há sugestões, nas rochas antigas, de animais como nós. As espécies aparecem, resistem de modo mais ou menos breve, e então batem as asas.

Antes da explosão cambriana, as espécies pareciam suceder-se umas às outras um tanto lentamente. Em parte isto pode ser consequência da riqueza das nossas informações — declinar rapidamente à medida que penetramos no passado; no início da história do nosso planeta, poucos organismos possuíam partes duras, e seres moles deixam poucos traços fósseis. Mas parte do ritmo indolente do aparecimento de formas drasticamente novas, anteriores à explosão cambriana, é real; a evolução esmerada da estrutura celular e da bioquímica não se reflete de imediato nas formas externas reveladas pelos registros fósseis. Após a referida explosão, novas adaptações primorosas

se seguiram umas às outras, a uma velocidade de tirar o fôlego. Em rápida sucessão, apareceram o primeiro peixe e o primeiro vertebrado; plantas anteriormente restringidas ao oceano iniciaram a colonização da Terra; os primeiros insetos evoluíram, e seus descendentes tornaram-se os pioneiros na colonização da Terra pelos animais; surgiram insetos alados juntamente com os anfíbios, criaturas semelhantes a peixes com pulmões, capazes de sobreviver tanto na terra como na água; apareceram as primeiras árvores e os primeiros répteis; os dinossauros evoluíram; emergiram os mamíferos e então os primeiros pássaros; as primeiras flores despontaram; os dinossauros se tornaram extintos; os primeiros cetáceos, ancestrais dos golfinhos e das baleias, surgiram no mesmo período dos primatas — antepassados dos macacos, gorilas e homens. Há menos de dez milhões de anos, as primeiras criaturas parecidas com seres humanos evoluíram, acompanhadas por um aumento espetacular no tamanho do cérebro. E então, somente há poucos milhões de anos, emergiram os primeiros humanos verdadeiros.

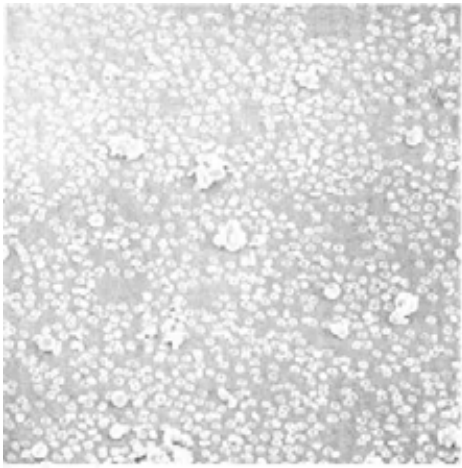
Os seres humanos viviam em florestas; temos uma afinidade natural por elas. Como é lindo uma árvore apontando para o céu. Suas folhas captam a luz solar para fotossintetizar, por isso as árvores competem sombreando suas vizinhas. Se observarmos com muito cuidado, podemos ver com frequência duas árvores se empurrando e impelindo com uma graça sutil. As árvores são máquinas grandes e belas, cuja força está na luz solar, tirando a água do solo e o dióxido de carbono do ar, convertendo estes materiais em alimento para seu uso e para nós. A planta utiliza os carboidratos que fazem como fonte de energia para circular em sua tarefa de vegetal. E nós, animais, que somos ultimamente parasitas das plantas, roubamos os carboidratos para fazermos o nosso trabalho. Ingerindo as plantas, combinamos os carboidratos com o oxigênio dissolvido em nosso sangue decorrente da nossa inclinação para respirar o ar, e assim extraímos a energia que nos impele. Durante o processo, exalamos dióxido de carbono que as plantas então reciclam para produzir mais carboidratos. Que cooperação maravilhosa — plantas e animais, cada um inalando a exalação do outro, um tipo de ressuscitação boca-a-boca mútua por todo o planeta, um ciclo distinto e completo, cuja força se encontra a 150 milhões de quilômetros de distância.

Há dez bilhões de tipos conhecidos de moléculas orgânicas, embora somente cerca de cinquenta delas sejam utilizadas nas atividades essenciais da vida. Os mesmos padrões são empregados várias e várias vezes, conservadoramente, engenhosamente, para as diferentes funções. E no verdadeiro âmago da vida na Terra — as proteínas que controlam a química celular e os ácidos nucleicos que transportam as instruções hereditárias — descobrimos que estas moléculas são essencialmente idênticas em todas as plantas e animais. Um carvalho e eu temos a mesma essência. Se retrocedermos o suficiente, encontraremos um antepassado comum.

A célula viva é um sistema tão complexo e belo como o domínio das galáxias e estrelas. O mecanismo elaborado da célula tem evoluído cuidadosamente durante quatro bilhões de anos.



Parentes próximos: um carvalho e um homem.



Fotomicrografia de células sangüíneas humanas, cortesia de D. Golde, UCLA. As células em forma de miçangas são células sangüíneas normais, que transportam oxigênio. Os aglomerados maiores são glóbulos brancos que engolfam os microrganismos estranhos.

Fragmentos alimentares são transformados em mecanismo celular. O leucócito de hoje é o creme de espinafre de ontem. Como o faz a célula? Interiormente há um labirinto e uma arquitetura imperceptíveis que mantêm sua própria estrutura, transformam moléculas, armazenam energia e preparam para a autoduplicação. Se pudéssemos penetrar em uma célula, muitas das manchas moleculares que veríamos seriam moléculas de proteína, algumas em frenética atividade, outras simplesmente aguardando. As proteínas mais importantes são enzimas, moléculas que controlam as reações químicas da célula. As enzimas são como trabalhadores de uma linha de produção, cada um especializado em um trabalho molecular particular: O Passo 4 na construção do nucleotídeo fosfato guanosina, ou o Passo 11 na quebra da molécula de açúcar para extrair energia são o tributo pago para a realização de outros trabalhos celulares. Mas as enzimas não dirigem o espetáculo. Elas recebem suas instruções — e são elas próprias construídas — por ordens enviadas pelos responsáveis. As moléculas-chefes dão os ácidos nucléicos, que habitam, seqüestrados, uma cidade proibida no interior profundo, no núcleo da célula.

Se mergulharmos através de um poro em direção ao núcleo da célula, encontraremos algo que lembra uma explosão em uma fábrica de espaguete — uma multidão desordenada de espirais e cordões, que são os dois tipos de ácidos nucléicos: o ADN, que sabe o que fazer e o ARN que transporta as instruções emitidas pelo ADN para o resto da célula. Isto é o melhor que quatro bilhões de anos de evolução pôde produzir, encerrando o complemento inteiro da informação de como montar uma célula, uma árvore ou um trabalho humano. A quantidade de informação no ADN humano, se descrito em linguagem comum, ocuparia uma centena de volumes grossos. Além disso, as moléculas de ADN sabem como fazer, com somente raras exceções, cópias idênticas. Elas sabem extraordinariamente demais.

O ADN é uma hélice dupla, as duas cadeias interligadas lembrando uma escada "em espiral". É a seqüência ou ordem dos nucleotídeos ao longo de ambas as cadeias constituintes que forma a linguagem da vida. Durante a reprodução, as hélices se separam, assistidas por uma proteína não-espiralada especial, cada uma sintetizando uma cópia idêntica da outra, partindo dos blocos de construção do nucleotídeo, flutuando próximas no líquido viscoso do núcleo da célula. Uma vez iniciada a desespiralização, uma enzima notável chamada polimerase ADN ajuda na certeza de que cada cópia trabalha quase que perfeitamente. Se houver um erro, há enzimas que "retiram" o erro e substituem o nucleotídeo errado por um certo. Estas enzimas são máquinas moleculares com poderes fabulosos.

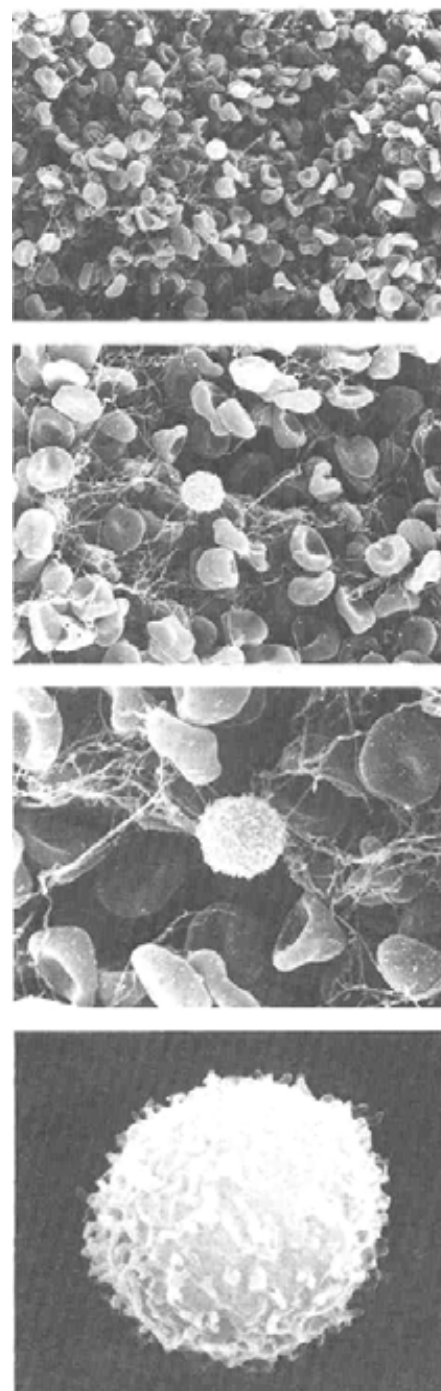
Além de produzir cópias precisas de si mesmo — o tema da hereditariedade — o ADN nuclear dirige as atividades da célula — o tema do metabolismo — sintetizando o outro ácido nucléico chamado ARN mensageiro, cada um passando pelas províncias extranucleares e lá controlando a construção no tempo certo, no lugar certo, de uma enzima. Quando tudo já está feito, foi produzida uma única molécula de enzima, que vai então

ordenar um aspecto particular da química da célula.

O ADN humano é uma escada com bilhões de nucleotídeos de comprimento. A maioria das combinações entre eles é absurda, pois levariam à síntese das proteínas que não executam uma tarefa útil. Somente um número extremamente limitado de moléculas de ácido nucléico são benéficas para formas de vida tão complicadas como a nossa. Mesmo assim, a quantidade de modos de se unirem os ácidos nucléicos é assombrosamente grande, provavelmente bem maior que o número total de elétrons e prótons do universo. Conseqüentemente, o número de seres humanos individualizados possível é imensamente maior do que os que já viveram: o potencial não extraído da espécie humana é enorme. Deve haver modos de se unir os ácidos nucléicos que funcionarão bem melhor, por qualquer critério que escolhamos, do que os que já viveram. Felizmente, ainda não sabemos como agrupar seqüências alternativas de nucleotídeos para montar tipos diferentes de seres humanos. No futuro talvez sejamos capazes de agrupar os nucleotídeos na seqüência desejada, para produzirem as características que considerarmos admiráveis, uma perspectiva sombria e inquietante.

A evolução se faz através da mutação e seleção. As mutações podem ocorrer durante a duplicação se a enzima do ADN, a polimerase, cometer um erro, mas isto raramente ocorre. As mutações ocorrem também em decorrência da radioatividade ou pela luz ultravioleta do Sol, raios cósmicos ou química do meio ambiente, todas podendo alterar os nucleotídeos ou amarrando os ácidos nucléicos em nós. Se o ritmo de mutação for muito alto, perderemos a herança de quatro bilhões de anos de evolução cuidadosa. Se for muito baixo, as novas variedades não serão capazes de se adaptar a alguma mudança futura no ambiente. A evolução da vida requer um equilíbrio mais ou menos preciso entre mutação e seleção. Quando este equilíbrio é atingido, temos as melhores adaptações. Uma alteração em um único nucleotídeo do ADN causa outra em um único aminoácido na proteína para a qual aquele ADN codifica. As hemácias das pessoas de ascendência européia parecem quase globulares, e as de algumas com ascendência africana se assemelham a pequenas foices ou crescentes. As células em foice transportam menos oxigênio e, conseqüentemente, transmitem um tipo de anemia, também fornecendo maior proteção contra a malária. Não há dúvida de que é melhor ser anêmico do que morrer. Esta influência principal na função do sangue — tão impressionante que é prontamente visível nas fotografias das hemácias — é o resultado da alteração em um único nucleotídeo em dez bilhões no ADN de uma típica célula humana. Ainda não sabemos das conseqüências das alterações na maioria dos outros nucleotídeos.

Nós, seres humanos, parecemos bem diferentes de uma árvore. Sem dúvida, percebemos um mundo de uma maneira bem diferente de um vegetal. Mas no fundo, no íntimo molecular da vida, árvores e nós somos essencialmente idênticos. Ambos utilizamos ácidos nucléicos na hereditariedade, bem como proteínas como enzimas para controlar a química de nossas células e, mais importante ainda, ambos utilizamos precisamente o mesmo livro de



Fotomicrografia eletrônica de varredura em ampliações sucessivamente maiores. Na primeira, a maioria das células são glóbulos vermelhos. Na última, a única célula ampliada é um linfócito B, no qual penetraremos nas páginas seguintes. Seu diâmetro é de cerca de um décimo de milionésimo de centímetro. Cortesia de Jean-Paul Revel, California Institute of Technology.



a



b



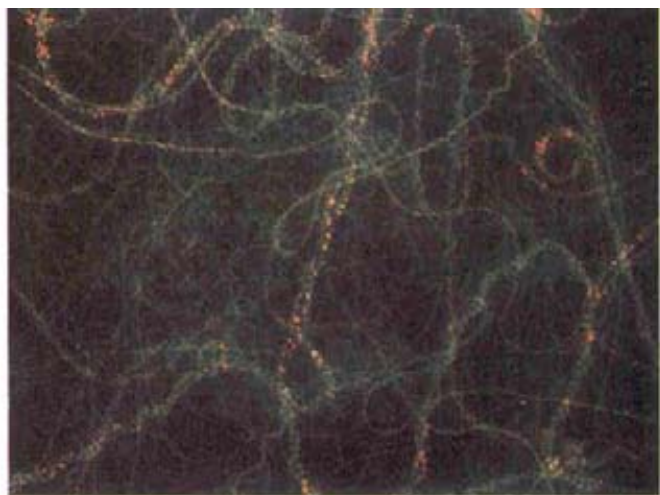
c



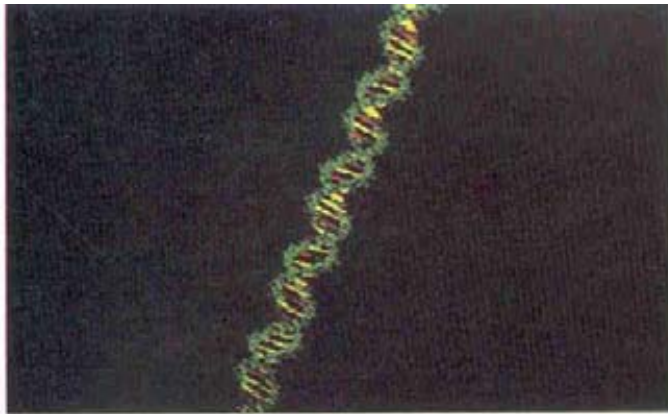
d



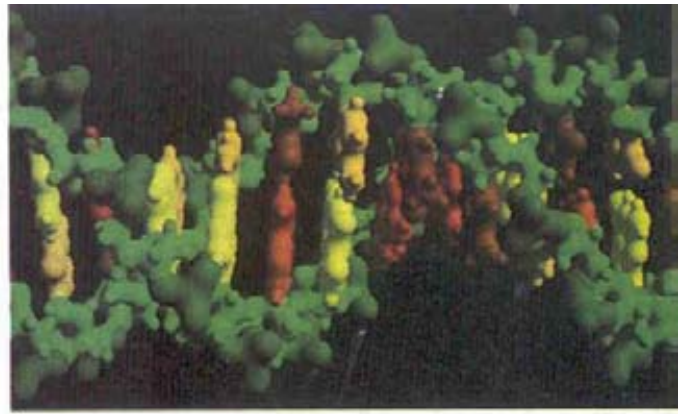
e



f



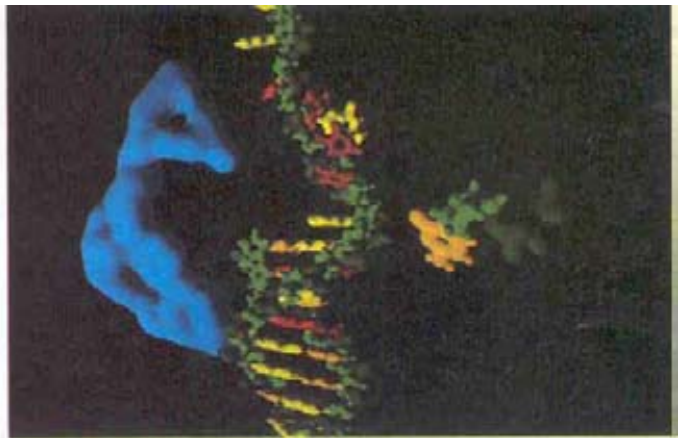
g



h



i



j

Viagem ao interior de uma célula viva: O linfócito humano (página 35) é um dos organismos superiores típicos na Terra. As células apresentam, caracteristicamente, cerca de 100 micrômetros (μm) de diâmetro ($=0,1$ milímetro, o menor objeto visível a olho nu). Atravessando a membrana celular, com cerca de $0,01 \mu\text{m}$ de espessura, encontramos extensões vilosas da membrana (a), chamadas retículo endoplasmático (RE), que desempenham um papel importante na arquitetura da célula. Dentro do citoplasma (b) vemos alguns dos numerosos ribossomas (por exemplo, o aglomerado de cinco glóbulos escuros), alguns ligados a proteínas ou ARN mensageiro, enviado do ADN no núcleo. Os ribossomas têm cerca de $0,02 \mu\text{m}$ de diâmetro. Os fios são microtúbulos que se dirigem ao núcleo (em azul claro, ao fundo). Com a forma de salsichas, as mitocôndrias (b,c), com cerca de $1 \mu\text{m}$ de espessura e $10 \mu\text{m}$ de comprimento, são o poder da célula. Possuem seu próprio ADN; seus antecessores podem, um dia, ter sido micróbios com vida independente. O RE é conectado com o núcleo da célula (c,d). Quando mergulhamos em um poro com a forma de um túnel ($0,05 \mu\text{m}$ de diâmetro) na membrana nuclear (e), emergimos no núcleo (f), repleto de cordões de ADN e lembrando "uma explosão em uma fábrica de espaguete". Cinco voltas ou torções completas de cada hélice de ADN são apresentadas (g), correspondentes a cerca de 4000 átomos constituintes. Uma molécula completa de ADN humano possui cerca de cem milhões destas torções e cerca de cem bilhões de átomos, tanto quanto o número de estrelas em uma galáxia típica. Uma destas torções é mostrada em (h). Cada um dos cordões verdes marca a espinha dorsal da molécula, formada de açúcares e fosfatos alternados. Apresentadas em amarelo, camurça, vermelho e marrom, constituem as bases de nucleotídeos contendo hidrogênio, que formam as cadeias ou suportes cruzados entre as duas hélices. (Representam as moléculas chamadas adenina, timina, guanina e citosina. A adenina se liga somente à timina; a guanina se liga somente à citosina.) A linguagem da vida é determinada pela seqüência de bases de nucleotídeos. Os globos individuais, neste exato modelo, correspondem a átomos de hidrogênio (o menor), carbono, nitrogênio, oxigênio e fósforo. A enzima desenrolada do ADN (chamada helicase), em azul (i), supervisiona a quebra das cadeias químicas entre as bases de nucleotídeos adjacentes preparatórias para a reprodução do ADN: Uma molécula de enzima do ADN, polimerase, (azul) supervisiona a ligação dos blocos montados próximos em um dos cordões de ADN (j). Cada cordão de uma hélice dupla original copia a outra na autoduplicação do ADN. Quando um nucleotídeo recém-chegado não se combina com o seu companheiro, a polimerase do ADN o remove, atividade que os biólogos moleculares chamam de "revisão de prova". Um erro raro na revisão de prova provoca uma mutação: as instruções genéticas foram alteradas. Uma polimerase de ADN humana típica unirá algumas dúzias de nucleotídeos a cada segundo. Dez mil deles podem estar ativos em uma molécula de ADN em qualquer momento durante a duplicação. Este estranho engenho molecular existe em toda planta, animal ou microrganismo na Terra. Criação (a-f) de Frank Armitage, John Allison e Adolf Schaller. Gráficos computadorizados (g-j) de James Blinn e Pat Cole, do Jet Propulsion Laboratory. As cores são arbitrárias.

código para transformar a informação do ácido nucléico em informação de proteína, como o fazem virtualmente todas as outras criaturas no planeta.* A explicação comum desta unidade molecular é que somos todos — árvores e pessoas, o peixe diabo-marinho, o limo vegetal e os paramécios — descendentes de um único e comum instante da origem da vida no início da história em nosso planeta. Como surgiram então as moléculas importantes?

Em meu laboratório na Universidade de Cornell trabalhamos, entre outros assuntos, com a química orgânica prébióticos, fazendo algumas anotações sobre a música da vida. Unimos e separamos os gases da Terra primitiva: hidrogênio, água, amônia, metano, sulfeto de hidrogênio, todos presentes, casualmente, no planeta Júpiter hoje e pelo Cosmos. As faíscas correspondem aos raios, também presentes na Terra antiga e no atual Júpiter. A reação no recipiente é, de início, transparente: os gases precursores são inteiramente invisíveis, mas após dez minutos de faiscagem vemos um estranho pigmento marrom lentamente riscando os lados do recipiente. O interior gradualmente se torna opaco, coberto por um alcatrão marrom e escuro. Se tivéssemos utilizando a luz ultravioleta — simulando o Sol inicial — os resultados teriam sido quase que os mesmos. O alcatrão é uma coleção extremamente rica de moléculas orgânicas complexas, incluindo as partes componentes de proteínas e ácidos nucléicos. A essência da vida parece poder ser facilmente montada.

Estas experiências foram feitas pela primeira vez no início dos anos 50 por Stanley Miller, então um aluno graduado do químico Harold Urey. Urey argumentava com insistência que a atmosfera inicial da Terra era rica em hidrogênio, como é na maior parte do Cosmos — que o hidrogênio tem escapado para o espaço proveniente da Terra, mas não do massivo Júpiter, e que a origem da vida se deu antes da perda do hidrogênio. Após Urey ter sugerido que estes gases escaparam, alguém perguntou a ele o que esperava obter da experiência. Urey replicou: "*Beilstein*". *Beilstein* é um maciço compêndio alemão de 28 volumes, listando todas as moléculas orgânicas conhecidas pelos químicos.

Utilizando somente os gases mais abundantes presentes no início da atmosfera da Terra e quase que qualquer fonte energética que rompa cadeias químicas, podemos produzir os blocos essenciais de construção da vida. Mas em nosso recipiente há somente as notas da música da vida — não a própria música. Os blocos moleculares de construção devem ser arrumados na



Síntese da matéria orgânica no Laboratório de Estudos Planetários, na Universidade de Cornell. Uma mistura transparente de metano, amônia, sulfeto de hidrogênio e água começa a ser lançada em um frasco de vidro (*acima*). Após algumas horas do lançamento, o interior do frasco está coberto de uma rica variedade de moléculas orgânicas pertinentes à origem da vida. Cortesia de Bishun Khare.

*Na realidade, o código genético não é inteiramente idêntico em todas as partes de todos os organismos na Terra. Pelo menos são conhecidos alguns casos onde a transcrição da informação do ADN para a da proteína em uma mitocôndria emprega um livro de código diferente do utilizado pelos genes no núcleo da mesma célula. Isto mostra uma longa separação evolucionária dos códigos genéticos das mitocôndrias e dos núcleos, e coincide com a idéia de que as mitocôndrias foram, um dia, organismos independentes incorporados à célula através de uma relação simbiótica de bilhões de anos atrás. O desenvolvimento e o aparecimento da sofisticação desta simbiose é, casualmente, uma resposta à pergunta sobre que evolução houve entre a origem da célula e a proliferação dos organismos multicelulares na explosão cambriana.

seqüência correta. A vida é, certamente, mais que aminoácidos que compõem proteínas, e nucleotídeos que compõem ácidos nucléicos. Mas até na ordenação destes blocos de construção em uma longa cadeia de moléculas, houve um processo laboratorial substancial. Aminoácidos foram agrupados em condições terrenas primitivas em moléculas que lembram proteínas. Alguns deles controlam debilmente as reações químicas úteis, como o fazem as enzimas. Os nucleotídeos foram reunidos em cordões de ácido nucléico com comprimento de algumas unidades. Sob as condições certas de um tubo de ensaio, os ácidos nucléicos curtos podem sintetizar cópias idênticas deles mesmos.

Ninguém até agora misturou os gases e águas da Terra primitiva e que, ao término da experiência, tivesse alguma coisa proveniente dela. As menores formas vivas conhecidas, os viróides, são compostos de menos de 10.000 átomos. Causam várias doenças diferentes em plantas cultivadas e provavelmente em tempo mais recente evoluíram de organismos mais complexos do que de mais simples. Realmente é difícil imaginar um organismo ainda mais simples que é, em todos os sentidos, vivo. Os viróides são compostos exclusivamente de ácido nucléico, diferentes dos vírus, que possuem também uma cobertura protéica. Não há mais do que um único cordão de ARN com uma geometria tanto linear ou circular fechada. Os viróides podem ser tão pequenos e ainda se desenvolverem porque vão até o fim, perseverantes parasitas. Como os vírus, eles simplesmente se apossam da máquina molecular de uma célula maior e funcionando bem, transformam-na de uma fábrica de mais células em uma outra de formação de mais viróides.

Os menores organismos de vida independente conhecidos são os PPLO (organismos semelhantes aos da pleuropneumonia) e outros similares. São compostos de cerca de cinquenta milhões de átomos. Tais organismos, tendo que ser mais auto-suficientes, são ainda mais complicados do que os viróides e os vírus. Mas o ambiente da Terra hoje não é extremamente favorável para as formas simples de vida. Temos que trabalhar duramente para fazer uma vida. Temos que ser cautelosos com os predadores. Contudo, no início da história do nosso planeta, quando grandes quantidades de moléculas orgânicas estavam sendo produzidas pela luz solar em uma atmosfera rica em oxigênio, organismos não-parasitários muito simples tiveram uma chance de lutar. As primeiras formas vivas talvez fossem parecidas com os viróides de vida independente, com somente algumas centenas de nucleotídeos de comprimento. Trabalhos experimentais na feitura destes seres, através de raspagens, podem iniciar-se no final do século. Ainda há muito a ser entendido sobre a origem da vida, incluindo a origem do código genético. Temos realizado experimentos por somente trinta anos. A natureza encerra quatro bilhões de anos. No fim de tudo, não temos nos saído tão mal.

Nada nestas experiências é singular para a Terra. Os gases iniciais e as fontes de energia são comuns no Cosmos. As reações químicas, como as que ocorrem em nossos recipientes no laboratório, podem ser responsáveis pela matéria orgânica no espaço

interestelar e pelos aminoácidos encontrados nos meteoritos. Alguma química similar deve ter ocorrido em um bilhão de outros mundos na Via-láctea. As moléculas da vida preenchem o Cosmos.

Mesmo se a vida em outro planeta apresentar a mesma química molecular da vida aqui, não há razão para esperarmos que pareçam organismos familiares. Consideremos a enorme diversidade das formas de vida na Terra, todas compartilhando do mesmo planeta e de idêntica biologia molecular. Estes outros animais e vegetais encerram provavelmente diferenças radicais de qualquer organismo que conhecemos aqui. Deve haver alguma evolução convergente, porque há somente uma solução adequada para um determinado problema ambiental, algo com dois olhos, por exemplo, para a visão binocular em frequência óptica. Mas em geral, a característica casual do processo evolucionário deve originar criaturas extraterrenas bem diferentes das que conhecemos.

Não posso lhes dizer como se parece um ser extraterreno. Sou terrivelmente limitado pelo fato de conhecer somente um tipo de vida, a da Terra. Algumas pessoas, artistas, escritores de ficção científica, por exemplo, têm especulado como serão estes seres. Sou cético quanto a maioria destas visões extraterrestres. Parecem-me apoiar-se bastante em formas de vida já conhecidas. Qualquer organismo apresenta uma forma decorrente de uma longa série de etapas individualmente improváveis. Não acredito que a vida em qualquer outro local se pareça com um réptil, inseto ou ser humano, e muito menos com adaptações cosméticas como pele verde, olhos pontudos e antenas. Se pressionado, posso tentar imaginar algo bem diferente:

Em um planeta gasoso gigantesco como Júpiter, com uma atmosfera rica em hidrogênio, hélio, metano, água e amônia, não há uma superfície sólida acessível, mas sim uma atmosfera nebulosa e mais densa na qual as moléculas orgânicas podem estar caindo dos céus como o maná, como os produtos de nossas experiências laboratoriais. Entretanto, há um obstáculo característico à vida neste planeta: a atmosfera é turbulenta e a sua camada mais profunda muito quente. Um organismo deve-se cuidar para não ser carregado para baixo e frígido.

Para mostrar que a vida não é impossível em um planeta tão diferente, meu amigo de Cornell, E. E. Salpeter e eu fizemos alguns cálculos. Naturalmente não podíamos saber, com precisão, como seria a vida num local como aquele, mas queríamos verificar se, dentro das leis de física e química, um mundo deste tipo teria possibilidade de ser habitado.

Um modo de se formar uma vida nestas condições é reproduzir antes de ser cozinhado e esperar que um meio de transporte carregue parte de sua prole para as camadas mais altas e mais frias da atmosfera. Estes organismos devem ser muito pequenos. Nós os chamamos de perfuradores, mas também podem ser flutuadores, um grande balão de hidrogênio bombeando hélio e os gases mais pesados para fora do seu interior, e deixando somente o hidrogênio; ou um balão de ar quente flutuando, man-



Ser alienígena de ficção científica, concepção de Edd Cartier. Compare com a fotomicrografia eletrônica de varredura do gorgulho terrestre apresentado no início deste capítulo. Extraído de Hamlyn Group Picture Library.

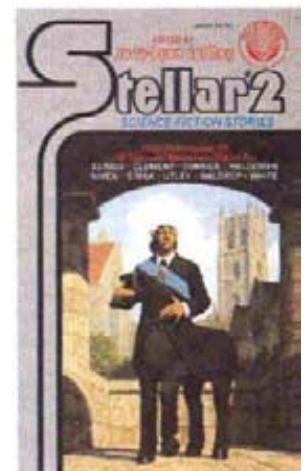
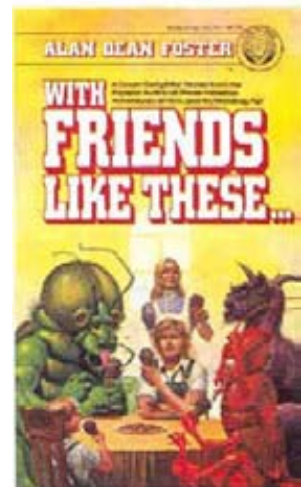
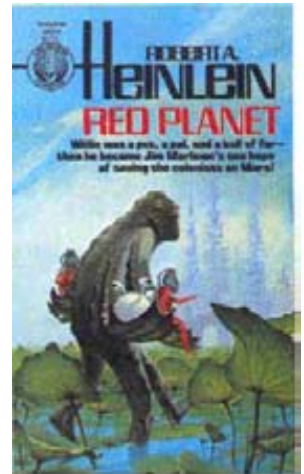
tendo seu interior aquecido, utilizando a energia adquirida através do alimento ingerido. Como os familiares balões terrestres, quanto mais pesado estiver um flutuador, maior a força de flutuação que o levará de volta às regiões mais altas, mais frias e mais seguras da atmosfera. Um flutuador poderá se alimentar de moléculas orgânicas pré-formadas ou fazer as suas próprias da luz solar e do ar, de modo semelhante às plantas na Terra. Até certo ponto, quanto maior for um flutuador, mais eficiente ele será. Salpeter e eu imaginamos flutuadores com quilômetros de extensão, muito maiores do que as maiores baleias que já existiram, seres com o tamanho de cidades.

Os flutuadores podem se impelir pela atmosfera planetária através de rajadas de gás, como um jato de guerra ou um foguete. Podemos imaginá-los arrumados em grandes rebanhos estendendo-se até onde a vista alcança, com padrões em sua pele e uma camuflagem adaptável, subentendendo-se que eles também possam ter problemas, pois, pelo menos, há um outro nicho ecológico em um ambiente como este a caça. Os caçadores são rápidos e usam de estratégia. Comem os flutuadores tanto pelas suas moléculas orgânicas quanto pelo seu estoque de hidrogênio puro. Escavadores ocos podem ter evoluído para os primeiros flutuadores e flutuadores autopropulsores nos primeiros caçadores. Não podem haver muitos caçadores, porque se consumirem todos os flutuadores, os próprios caçadores perecerão.

A física e a química permitem tais formas de vida. A arte os adota com um certo encanto. Entretanto, a natureza não é obrigada a seguir as nossas especulações. Mas se existem bilhões de mundos inabitados na Via-láctea, talvez haja alguns povoados por escavadores, flutuadores e caçadores que a nossa imaginação, temperada pelas leis de física e química, gerou.

A biologia se assemelhou mais à história do que à física. Temos que conhecer o passado para compreender o presente, e temos que percebê-lo nos mínimos detalhes. Até agora não há uma teoria profética de biologia, assim como também não há no campo da história. As razões são as mesmas: ambos os assuntos são ainda muito complicados para nós, mas podemos conhecer-nos melhor através da compreensão de outros. O estudo de um único instante de vida extraterrestre, não importa quão modesto, desprovincializará a biologia. Pela primeira vez, os biólogos reconhecerão que outros tipos de vida são possíveis. Quando dizemos que a procura pela vida em outros locais é importante, não garantimos que será fácil encontrá-la, somente que é uma procura muito valiosa.

Até agora ouvimos a voz da vida somente em um pequeno mundo, mas pelo menos começamos a prestar atenção a outras vozes participantes da fuga cósmica.



Vários modelos de seres alienígenos criados pela ficção científica.



Pesquisadores e flutuadores, formas de vida imaginárias, mas possíveis em uma atmosfera de um planeta como Júpiter. As formas de nuvem são como as descobertas pela Voyager, em Júpiter. Os cristais de gelo na alta atmosfera são responsáveis pelo halo em torno do Sol. Os detalhes na página seguinte são (a) grupo de flutuadores acima de um sistema de tempestade atmosférica; (b) flutuadores através de uma brecha nas nuvens; (c) flutuadores bem acima de nuvens de amônia; (d,e) *close-up* de flutuadores: note os padrões de camuflagem, coloração protetora contra caçadores; (f) caçador em configuração de ataque; (g) grupo de caçadores camuflados em altitudes elevadas. Criações de Adolf Schaller.



a



b



c



d



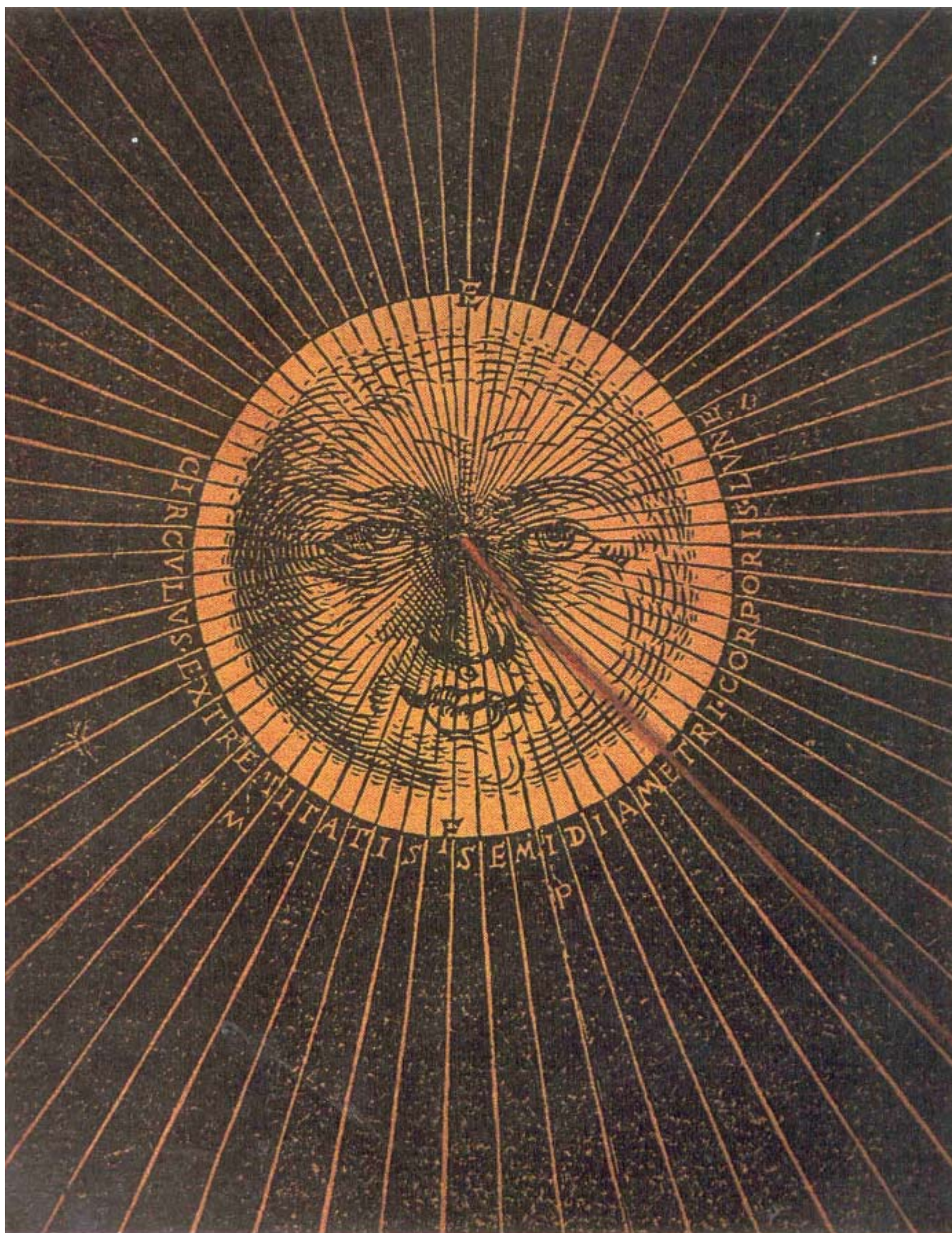
e



f



g



Detalhe decorativo de um documento de cálculo para determinar o tamanho da sombra da Terra na Lua durante um eclipse lunar. Feito no ano de 1540, três anos antes da publicação do livro de Copérnico, e trinta e um antes do nascimento de Johannes Kepler. Do *Astronomicum Caesarium*, de Petrus Apianus, Ingolstadt, Alemanha.



Capítulo III

A HARMONIA DOS MUNDOS

Conheces as leis dos céus?

Poderás estabelecer as suas regras na Terra?

— O Livro de Jó.

Toda prosperidade bem como adversidade vêm ao homem e às outras criaturas através do Sete e do Doze. Os Doze Signos do Zodíaco, como diz a Religião, são os doze comandantes no lado da luz; e os sete planetas são ditos como os sete comandantes do lado da escuridão. E os sete planetas oprimem toda a criação e a entregam para a morte e a todas as faces do mal; os doze signos do Zodíaco e os sete planetas governam o destino do mundo.

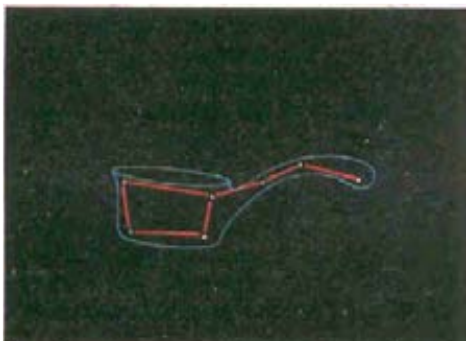
— O último livro zoroastriano, o *Menok i Xrat*.

Dizer-nos que tudo é dotado de uma qualidade específica oculta através da qual agem e se produzem os efeitos manifestos, é nada dizer. Mas derivar dois ou três princípios gerais de movimento do fenómeno, e em seguida dizer-nos como as propriedades e ações de todas as coisas corpóreas decorrem destes princípios manifestos, seria um grande avanço.

Isaac Newton, *Optics*.

Não nos perguntamos qual o propósito útil dos pássaros cantarem, pois o canto é o seu prazer, uma vez que foram criados para cantar. Similarmente, não devemos perguntar por que a mente humana se inquieta com a extensão dos segredos dos céus... A diversidade do fenómeno da Natureza é tão vasta e os tesouros escondidos nos céus tão ricos, precisamente para que a mente humana nunca tenha falta de alimento.

Johannes Kepler, *Mysterium Cosmographicum*.



Constelação do Hemisfério Norte, chamada A Ursa Maior na América do Norte. Na França é conhecida como A Caçarola.



O mesmo grupo de sete estrelas (unido por linhas vermelhas) é chamado, na Inglaterra, de O Arado.



Na China, imaginavam-na como a constelação de O Burocrata Celestial, assentado em uma nuvem e acompanhado, em suas voltas em torno do pólo norte celeste, por seus suplicantes eternamente esperançosos. Desenhos e fotografias de Judy Kreijanovsky (Cartoon Kitchen).

SE VIVÉSSEMOS EM UM PLANETA ONDE NADA JAMAIS MUDASSE, haveria pouca coisa a fazer. Não haveria nada a ser calculado e nenhum ímpeto para a ciência. E se vivéssemos em um mundo imprevisível onde as coisas mudassem ao acaso ou de maneiras muito complexas, não seríamos capazes de calcular nada. Mais uma vez não haveria ciência. Porém, vivemos em um universo limitado, onde as coisas mudam de acordo com padrões, regras, ou podemos chamá-las de leis da natureza. Se eu atirasse uma vareta para o ar, ela cairia. Se o Sol se pusesse no oeste, sempre surgiria na manhã seguinte no leste. Deste modo é possível calcularem-se os fatos. Podemos fazer ciência e com ela melhorar nossas vidas.

Os seres humanos são hábeis no entendimento do mundo. Temos sido sempre. Somos capazes de caçar ou provocar incêndios somente porque calculamos como fazê-lo. Houve um tempo anterior à televisão, cinema, rádio e livros. A maior parte da existência humana foi gasta nisso. Sob carvões em brasa se extinguindo em uma fogueira de um acampamento, em uma noite de lua cheia, observamos as estrelas.

O céu noturno é interessante. Há desenhos. Mesmo sem tentar, podemos imaginá-los. No céu setentrional, por exemplo, há um desenho ou constelação, que parece um ursinho. Alguns povos chamam-na A Grande Ursa. Outros vêem imagens bem diferentes. Estes desenhos não são, naturalmente, *reais* no céu noturno, nós é que os colocamos lá. Fomos caçadores e vemos caçadores e cães, ursos e jovens mulheres, objetos do nosso interesse. Quando os marinheiros europeus do século XVII viram, pela primeira vez, o céu meridional, transferiram para lá objetos de interesse do século XVII — tucanos e pavões, telescópios e microscópios, compassos e popas de navios. Se as constelações tivessem recebido nomes no século XX, suponho que veríamos bicicletas e refrigeradores no céu, "estrelas" de *rock-and-roll* e talvez até nuvens em cogumelo — um novo grupo de esperanças e receios humanos entre as estrelas.

Ocasionalmente nossos ancestrais viam uma estrela brilhante com uma cauda, cintilando somente por um momento, riscando o céu com rapidez. Chamavam-na estrela cadente, mas a escolha desse nome não foi boa: as estrelas velhas ainda estão lá após a queda da estrela cadente. Em algumas estações do ano há várias estrelas cadentes, em outras, muito poucas. Há uma espécie de regularidade também neste aspecto.

Como o Sol e a Lua, as estrelas sempre surgem no leste e se põem no oeste, levando a noite inteira para atravessar o céu se passarem por cima de nossas cabeças. Há constelações diferentes em estações diferentes. A mesma constelação sempre surge no início do outono, por exemplo. Nunca acontece de uma constelação nova surgir repentinamente no leste. Há uma ordem, uma previsão, uma permanência referente às estrelas. Em um aspecto, isso é um pouco confortador.

Certas estrelas surgem um pouco antes, ou um pouco depois do Sol — e em épocas e posições que variam de acordo com as estações. Se fizermos observações cuidadosas das estrelas e registrá-las por muitos anos, poderemos prever as estações.

Também poderemos medir a duração do ano anotando onde o Sol surge no horizonte a cada dia. Há, nos céus, um grande calendário, disponível a qualquer um dedicado e habilidoso, e que guarda os registros.

Nossos antepassados construíram inventos para medir a passagem das estações. Em Chaco Canyon, Novo México, há um grande kiva ou templo cerimonial sem teto, datando do século XI. No dia 21 de junho, o dia mais longo do ano, um feixe de luz penetra por uma janela ao amanhecer e move-se lentamente de modo a cobrir um nicho especial. Isto acontece somente por volta do dia 21 de junho. Imagino o orgulhoso povo Anasazi, que se intitulava "Os Antigos", reunido em seus lugares predeterminados a cada 21 de junho, vestido com plumas, guisos e turquesas para celebrar o poder do Sol. Também acompanhava o movimento aparente da Lua: os vinte e oito nichos superiores de kiva podem representar o número de dias que a Lua gasta para retornar à mesma posição entre as constelações. Este povo dispensava muita atenção ao Sol, à Lua e às estrelas. Outros inventos baseados em idéias similares foram encontrados em Angkor Wat, no Camboja; Stonehenge, na Inglaterra; Abu Simbel, no Egito; Chichén Itzá, no México; e nas Grandes Planícies, na América do Norte.

Alguns inventos calêndricos reconhecidos são possivelmente decorrentes do acaso — um alinhamento acidental de uma janela e um nicho a 21 de junho, por exemplo. Mas há outros engenhos maravilhosamente diferentes. Em um local no Sudoeste americano há um grupo de três pranchas verticais que foram mudadas de sua posição original há cerca de 1000 anos. Foi escavada uma espiral semelhante a uma galáxia na rocha. A 21 de junho, o primeiro dia do verão, um estilhaço de luz solar derramando-se em uma abertura entre as pranchas secciona a espiral ao meio, e a 21 de dezembro, o primeiro dia de inverno, há duas réstias de luz solar que ladeiam a espiral, uma aplicação única do sol do meio-dia para ler o calendário no céu.

Por que pessoas por todo o mundo se esforçam tanto para aprender astronomia? Caçamos gazelas, antílopes e búfalos, cujas migrações diminuem e aumentam de acordo com as estações. Frutas e nozes estão prontas para serem colhidas em algumas épocas, mas não em outras. Quando inventamos a agricultura, tínhamos que estar atentos para plantar e colher na estação certa. Os encontros anuais das grandes tribos nômades eram marcadas em épocas determinadas. A capacidade de ler o calendário nos céus era, literalmente, um meio de vida e de morte. O reaparecimento da lua em quarto crescente após a lua nova, o retorno do Sol após um eclipse total, o surgimento do Sol após sua ausência incômoda à noite eram anotados pelos povos do mundo: estes fenômenos revelavam aos nossos antepassados a possibilidade de sobreviver à morte. Também lá nos céus havia uma metáfora de imortalidade.

O vento fustiga por entre os *canyons* no Sudoeste americano, e não há ninguém para ouvi-lo, exceto nós — a lembrança de 40.000 gerações de homens e mulheres que raciocinavam, as quais nos precederam, a respeito das quais não sabemos quase nada e sobre as quais a nossa civilização se baseou.



Na Europa medieval, as mesmas estrelas eram vistas como a Carroça de Charles, ou A Carruagem.



Os antigos gregos e os nativos americanos viam estas estrelas como a cauda da Grande Ursa — Ursa Maior.



Este grupo maior de estrelas, que encerra dentro dele A Ursa Maior, foi desenhado pelos antigos egípcios como uma procissão curiosa de um touro, um homem ou deus na horizontal, e um hipopótamo com um crocodilo por trás. Desenhos e fotografias de Judy Kreijanovsky (Cartoon Kitchen).



Casa Bonita, construção Ánasazi da sé-
culo XI, com 800 quartos.



Casa Rincanãda, templo Anasazi com
um alinhamento leste-oeste quase que
perfeito.



Interior da Casa Rincanãda, mostrando
seis nichos mais altos e dois mais
baixos.

À medida que as gerações passavam, os povos aprendiam com seus ancestrais. Quanto maior a precisão que soubessem sobre a posição e movimentos do Sol, Lua e estrelas, maior a certeza obtida para predizer quando caçar, semear e ceifar, quando reunir as tribos. À proporção que a precisão das medidas melhorava, os registros começavam a ser guardados, de modo que a astronomia encorajou a observação, a matemática e o desenvolvimento da escrita.

Então, posteriormente, surgiu outra idéia bastante curiosa, uma torrente de misticismo e superstição, na qual havia muito de ciência empírica. O Sol e as estrelas controlavam as estações, a comida, o calor. A Lua controlava as marés, os ciclos de vida de muitos animais e talvez o período menstrual humano* — de cabal importância para as espécies apaixonadas devotadas a procriar. Havia um outro tipo de objeto no céu, as estrelas errantes chamadas planetas. Nossos ancestrais nômades devem ter sentido uma afinidade por eles. Sem contar com o Sol e a Lua, podíamos ver somente cinco deles. Moviam-se contra o fundo das estrelas mais distantes. Se seguissemos seu movimento aparente por meses, eles deixariam uma constelação, entrariam em outra, até mesmo, ocasionalmente, descrevendo um tipo de volta completa no céu. Tudo o mais no céu encerra um efeito real na vida humana. Qual seria a influência do planeta?

Na sociedade ocidental contemporânea, comprar uma revista sobre astrologia em uma banca, por exemplo, é fácil; difícil é encontrar uma sobre astronomia. Quase todo jornal diário na América publica uma coluna sobre astrologia, mas encontrar algum com uma coluna semanal de astronomia é quase impossível. Há dez vezes mais astrólogos nos Estados Unidos do que astrônomos. Em reuniões sociais, quando encontro pessoas que não sabem que sou um cientista, perguntam-me: "Você é geminiano?" (chances de sucesso, uma em doze), ou "De que signo você é?". Muito mais raro é perguntarem-me "Você soube que se forma ouro em explosões de supernova?" ou "Quando você acha que o Congresso aprovará o Mars Rover?"

A astrologia sustenta que a constelação na qual os planetas estejam no momento do seu nascimento influenciará o seu futuro. Há alguns milhares de anos, a idéia ampliou-se ao ponto de afirmar-se que os movimentos dos planetas determinavam o destino dos reis, dinastias e impérios. Os astrólogos estudavam os movimentos dos planetas e se perguntavam o que teria acontecido na última vez que, por exemplo, Vênus penetrou na Constelação de Capricórnio, talvez alguma coisa semelhante acontecesse também desta vez. Era uma profissão que envolvia perspicácia e risco. Os astrólogos passaram a ser contratados pelo Estado. Em muitas cidades passou a ser uma grande ofensa alguém, a não ser o astrólogo

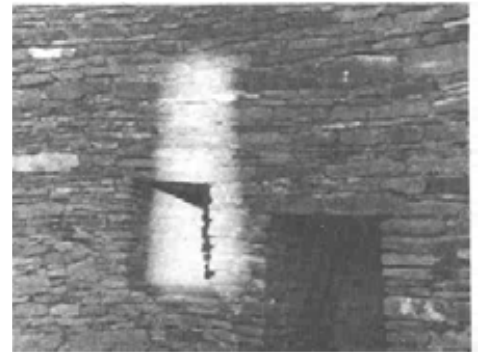
*A raiz da palavra significa "Lua".

oficial, ler os presságios nos céus; uma boa maneira para derrubar um regime era prever a sua queda. Os astrólogos da corte chinesa, que faziam previsões incorretas, eram executados. Outros simplesmente falsificavam os registros, de modo que ficavam em perfeita conformidade com os eventos. A astrologia desenvolveu-se no meio de uma estranha combinação de observações, matemática e uma cuidadosa manutenção de registros mesclados de pensamentos confusos e de fraudes piedosas.

Se os planetas podiam determinar o destino das nações, como poderiam evitar a influência do que aconteceria comigo amanhã? A noção de astrologia pessoal desenvolveu-se no Egito alexandrino e espalhou-se nos mundos grego e romano há cerca de 2.000 anos. Podemos, hoje, reconhecer a antiguidade da astrologia em palavras como "desastre", forma grega de "estrela ruim", *influenza*, forma italiana para "influência" (astral); *mazeltov*, forma hebraica — e posteriormente babilônica — para "boa constelação", ou a palavra iídiche *shlamazel*, aplicada a alguém atormentado pela implacável adversidade, que novamente nos conduz ao léxico astronômico babilônico. De acordo com Plínio, havia romanos considerados *sideratio*, "golpeado por um planeta". Ou consideremos *considerar*: significa "com os planetas", evidentemente um pré-requisito para uma reflexão mais séria. O quadro à pag. 51 mostra a estatística da mortalidade na Cidade de Londres, em 1632. Das terríveis perdas entre as doenças infantis e dos recém-nascidos e uma tão exótica como "acender das luzes" e "mal do Rei", descobrimos que, em 9.535 mortes, 13 pessoas sucumbiram de "planet" (por influência do planeta), mais do que os que morreram de câncer. Gostaria de saber os sintomas.

A astrologia pessoal ainda é comum entre nós: consideremos duas colunas astrológicas de dois jornais diferentes, publicadas na mesma cidade, no mesmo dia. Por exemplo, podemos examinar o *New York Post* e o *Daily News* de 1979. Suponhamos que você seja de Libra — isto é, nascido entre 23 de setembro e 22 de outubro. De acordo com o astrólogo do *Post* "um compromisso ajudará a aliviar a tensão", útil talvez, mas um tanto vago. Segundo o do *Daily News*, "exija mais para si mesmo", uma admoestação também vaga e diferente. Estas "previsões" não são previsões, mas sim conselhos — dizem-lhe o que fazer, não o que acontecerá. Deliberadamente são montadas de modo a serem aplicadas a qualquer um. Manifestam inconsistências mútuas. Por que são publicadas sem apologia, como as estatísticas esportivas e o mercado de capitais?

A astrologia pode ser testada pela vida de gêmeos. Há vários casos nos quais um morre na infância, por exemplo, em um acidente eqüestre, ou é atingido por um raio, enquanto o outro vive até a idade adulta. Os dois nasceram precisamente no mesmo local e com uma diferença de poucos minutos. Exatamente os mesmos planetas surgiam aos seus nascimentos. Se a astrologia fosse válida, como poderiam esses gêmeos ter destinos tão profundamente diferentes? Também acontece de astrólogos não concordarem nem entre eles sobre o significado



A luz do Sol penetra por uma janela iluminando um nicho próximo ao amanhecer, em 21 de junho, na Casa Rincanãda.



Um notável indicador Anasazi do solstício, datado de cerca do ano 1000.



"A Roda da Medicina", de Saskatchewan, construída por volta do ano 600 A.C.: o observatório astronômico mais antigo das Américas. Seu diâmetro é cerca de oitenta metros. O marco de pedras, à esquerda, é o ponto para observação do nascer do Sol no solstício do verão. Foto do Dr. John Eddy.



Movimento retrógrado do planeta Marte, em linha vermelha, ao longo de vários meses, visto contra o fundo das constelações.



Movimento aparente, ao longo de vários meses, através das mesmas constelações de vários planetas.

de um determinado horóscopo. Em testes minuciosos, foram incapazes de prever o caráter e o futuro de pessoas sobre as quais nada sabiam, exceto a época e o local do nascimento.*

Há um aspecto curioso a respeito das bandeiras nacionais do planeta Terra. A dos Estados Unidos possui cinquenta estrelas; a da União Soviética e a de Israel, uma; Birmânia, quatorze; Granada e Venezuela, sete; China, cinco; Iraque, três; São Tome e Príncipe, duas; Japão, Uruguai, Malawi, Bangladesh e Tailândia, o Sol; Brasil, uma esfera celeste; Austrália, Samoa Ocidental, Nova Zelândia e Papua, Nova Guiné, a constelação do Cruzeiro do Sul; Bhutan, o dragão-pérola, símbolo da Terra; Camboja, o observatório astronômico de Angkor Wat; Índia, Coréia do Sul e a República da Mongólia, símbolos cosmológicos. Muitas nações socialistas exibem estrelas, muitas nações islâmicas exibem luas crescentes. Quase metade das nossas bandeiras nacionais exibem símbolos astronômicos. O fenômeno é transcultural, não-sectário e geral. Também não é restrito ao nosso tempo: o selo cilíndrico sumeriano, do terceiro milênio A.C. e as bandeiras taoístas na China pré-revolucionária exibiam constelações. As nações, eu não duvido, desejam abranger algo com o poder e a credibilidade dos céus. Procuramos uma conexão com o Cosmos. Queremos considerar a grande escala das coisas, e acontece que *estamos* conectados, não em um padrão pessoal, de pequena escala, sem imaginação, que os astrólogos pretendem, mas de modo mais profundo, envolvendo a origem da matéria, a habitabilidade da Terra, evolução e destino da espécie humana, temas aos quais retornaremos.

A astrologia popular moderna remonta diretamente a Claudius Ptolemaeus, a quem chamamos de Ptolomeu, embora não tivesse nenhuma relação com os reis do mesmo nome. Ele trabalhou na Biblioteca de Alexandria no século II. Todo este aspecto misterioso sobre planetas ascendentes nesta ou naquela "casa" solar ou lunar, ou a "Era de Aquário" provém de Ptolomeu, que codificou a tradição astrológica babilônica. Aqui temos um horóscopo típico do tempo de Ptolomeu, escrito em grego, em um papiro, para uma menina nascida no ano 150: "O nascimento de Philoe. O 10.º ano do imperador Antonius Caesar, Phamenoth 15 a 16, primeira hora da noite. Sol em Peixes, Júpiter e Mercúrio em Áries, Saturno em Câncer, Marte em

*O ceticismo em relação à astrologia e às doutrinas correlatas não é nem recente, nem exclusivo da sociedade ocidental. Por exemplo, em *Ensaio sobre a Inutilidade*, escrito em 1332 por Tsurezuregusa, de Kenko, encontramos:

Os ensinamentos Yin-Yang (no Japão) não têm nada a dizer sobre os Dias de Língua Vermelha. As pessoas antigas não evitaram esses dias, mas as de hoje — gostaria de saber o responsável pelo início desse costume — dizem coisas como "Uma contenda iniciada em um Dia da Língua Vermelha nunca terá um fim", ou "Qualquer coisa dita ou iniciada em um Dia da Língua Vermelha deverá resultar em nada: você perde o que ganhou, seus planos não se realizam". Que insensatez! Se alguém contar os projetos iniciados "dias de sorte" cuidadosamente selecionados que resultaram em nada, provavelmente serão tantos quantos as lutas sem proveito começadas em dias da Língua Vermelha.

Leão, Vênus e a Lua em Aquário, horóscopo Capricórnio". O método de enumeração de meses e anos mudou muito mais através dos séculos do que a precisão astrológica. Um excerto típico do livro astrológico de Ptolomeu, o *Tetrabiblos*, diz: "Saturno, se estiver no Oriente, torna seus súditos em aparência de pele escura, robustos, cabelos pretos, crespos, tronco cabeludo, com olhos de tamanho moderado, estatura média, e no temperamento com excesso de umidade e frio." Ptolomeu acreditava não somente que os padrões de comportamento eram influenciados pelos planetas e estrelas, mas também as questões de estatura, compleição, nacionalidade e até anormalidades físicas congênitas eram determinados pelas estrelas. Neste aspecto, os modernos astrólogos parecem ter adotado uma posição mais cuidadosa.

Mas estes astrólogos esqueceram a precessão dos equinócios, a qual Ptolomeu conhecia. Eles ignoram a refração atmosférica, sobre a qual Ptolomeu escreveu. Quase não prestam atenção a todas as luas e planetas, asteróides e cometas, quasares e pulsares, galáxias explodindo, estrelas simbióticas, variáveis cataclísmicas e fontes de raios X que foram descobertas após Ptolomeu. A astronomia é uma ciência — o estudo do universo como ele é. A astrologia é uma pseudociência — uma pretensão, na ausência de uma evidência de que outros planetas afetam a nossa vida diária. Na época de Ptolomeu a distinção entre as duas não era determinada. Hoje o é.

Como astrônomo, Ptolomeu relacionou estrelas, registrou seus brilhos, apresentou boas razões para acreditarem que a Terra era uma esfera, estabeleceu normas para a previsão de eclipses e, talvez o mais importante, tentou compreender o porquê dos planetas exibirem aquele estranho movimento vagando contra o fundo das constelações distantes. Desenvolveu um modelo profético para a compreensão dos movimentos planetários e a decodificação da mensagem nos céus. O estudo dos céus trouxe a Ptolomeu um tipo de êxtase. "Mortal que sou", escreveu, "sei que nasci por um dia, mas quando seguir, à minha vontade, a multidão compacta de estrelas em seu curso circular, meus pés não tocarão mais a Terra..."

Ptolomeu acreditou que a Terra fosse o centro do universo; que o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas giravam em torno dela. Era a idéia mais natural da época. A Terra parece firme, sólida, imóvel, enquanto podemos ver os corpos celestes surgindo e desaparecendo a cada dia. Todas as culturas transpuseram a hipótese geocêntrica. Como escreveu Johannes Kepler: "É, portanto, impossível que a razão não previamente instruída pudesse imaginar qualquer coisa senão que a Terra seria um tipo de casa imensa com a cúpula do céu no topo; não teria movimento e, dentro dela, o Sol tão pequeno passaria de uma região para outra, como um pássaro esvoaçando pelo ar". Mas como explicar o movimento aparente dos planetas — Marte, por exemplo, que era conhecido por milhares de anos antes da época de Ptolomeu? (Um dos epítetos dados a Marte pelos antigos egípcios era *sekded-ef* em *khetkhet*, que significa "que viaja para trás", uma clara referência ao seu movimento aparente retrógrado, ou que descreve uma volta para trás).

Natural and Political OBSERVATIONS

Mentioned in a following INDEX,
and made upon the
Bills of Mortality.

By JOHN GRAUNT,
Citizen of
LONDON.

With reference to the Government, Religion, Trade,
Grain, Ayre, Diseases, and the several Changes of the
said City.

— Non, ut ut miratur Turco, laboro.
Consequat paucis Lethæibus —

LONDON,
Printed by Tho: Roycroft, for John Martin, James Allestry,
and Tho: Dineart, at the Sign of the Bell in St. Paul's
Church-yard, MDCLXII. = 1662

Cubierta del libro de John Graunt de 1632
sobre estadísticas actuariales.

The Diseases, and Casualties this year being 1632.

A Boetive, and Stillborn .. 445	Grief	11
Affrighted	Jaundies	43
Aged	Jaw-falls	8
Ague	Impostume	74
Apoplex, and Meagron .. 17	Kill'd by several accidents.. 46	
Bet with a mad dog	King's Evil	38
Bleeding	Lethargie	2
Bloody flux, scouring, and flux	Liver-grown	87
348	Lunatique	5
Brused, Issues, sores, and ulcers	Made away themselves	15
28	Measles	80
Burnt, and Scalded	Murdered	7
Burst, and Rupture	Over-laid, and starved at nurse	7
Cancer, and Wolf	Palsie	25
Canker	Piles	1
Childbed	Plague	8
171	Planet	13
Cholera, and Infants	Pleurisie, and Splen	26
2286	Purples, and spotted Fever .. 34	
Cold, and Cough	Quinsie	7
Colick, Stone, and Strangury 50	Rising of the Lights	98
Consumption	Selatica	1
1797	Scurvey, and Itch	9
Convulsion	Suddenly	82
241	Surfet	86
Cut of the Stone	Swine Pox	6
Dead in the street, and starved	Teeth	470
6	Thrush, and Sore mouth	40
Dropsie, and Swelling	Tympany	13
267	Tissick	24
Drowned	Vomiting	1
34	Worms	27
Executed, and prest to death 18		
Falling Sickness		
7		
Fever		
1108		
Fistula		
13		
Flocks, and small Pox		
531		
French Pox		
12		
Gangrene		
5		
Gout		
4		

Christened { Males ... 4994 } Buried { Males ... 4932 } Whoreol.
Females ... 4960 } of the
In all ... 9954 } In all ... 9853 } Plague 8

Increased in the Burials in the 122 Parishes, and at the Pest-
house this year 930 || Decreased of the Plague in the 122 Parishes, and at the Pest- house this year | 266 [10] |

Causas mortis em Londres, 1632, do
livro de Graunt.



Nicolau Copérnico. Pintura de Jean-Leon Huens, © National Geographic Society.



Johannes Kepler. Retrato de Tycho Brahe na parede. Pintura de Jean-Leon Huens, © National Geographic Society.

O modelo de movimento planetário de Ptolomeu pode ser representado por uma pequena máquina, como as que, servindo a um propósito similar, existiam na época de Ptolomeu.* O problema era representar um movimento "real" dos planetas vistos de cima, de fora, que produziria com grande precisão o movimento aparente dos planetas, como visto daqui "de dentro".

Imaginava-se que os planetas giravam em torno da Terra fixos a esferas perfeitas e transparentes, mas não estavam atados direta e sim, indiretamente, a elas, através de um tipo de roda fora do eixo. A esfera gira, a pequena roda também e, visto da Terra, Marte retrograda. Este modelo permite previsões razoavelmente seguras, com certeza, boas o suficiente para a precisão das medidas disponíveis no tempo de Ptolomeu e mesmo por muitos séculos depois.

As esferas etéricas de Ptolomeu, imaginadas nos tempos medievais sendo feitas de cristal, são o porquê de ainda falarmos na música das esferas e em um sétimo céu (havia um "céu" ou esfera para a Lua, Mercúrio, Vênus, o Sol, Marte, Júpiter e Saturno, e um a mais para as estrelas). Com a Terra no centro

* Quatro séculos antes tal invento foi construído por Arquimedes, e examinado e descrito por Cícero em Roma, para onde tinha sido levado pelo general romano Marcellus, pois um dos seus soldados havia matado, gratuitamente e contra as ordens recebidas, o cientista septuagenário durante a conquista de Siracusa.

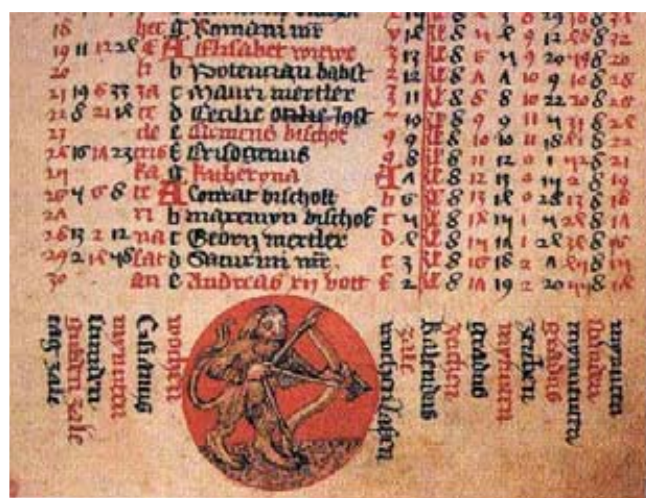
do universo, com a criação centrada sobre eventos terrestres, com os céus imaginados como sendo construídos sobre princípios inteiramente não terrenos, havia pouca motivação para observações astronômicas. Sustentado pela Igreja durante a Era das Trevas, o modelo de Ptolomeu ajudou a impedir o avanço da astronomia por um milênio. Finalmente, em 1543, uma hipótese bem diferente para explicar o movimento aparente dos planetas foi publicada por um clérigo católico polonês chamado Nicolau Copérnico. Sua imagem mais assustadora foi a proposição de que o Sol, e não a Terra, era o centro do universo. A Terra foi admitida como um dos planetas, o terceiro em relação ao Sol, movendo-se em uma órbita perfeitamente circular. (Ptolomeu tinha considerado um modelo heliocêntrico, mas rejeitou-o imediatamente; segundo a física de Aristóteles, a rotação violenta implícita da Terra parecia contrária à observação.)

A idéia servia pelo menos tão bem quanto as esferas de Ptolomeu para explicar o movimento aparente dos planetas, mas incomodou muitas pessoas. Em 1616, a igreja católica colocou o trabalho de Copérnico na lista dos livros proibidos, "até ser corrigido" por censores eclesiásticos locais, onde permaneceu até 1835.* Martinho Lutero descreveu Copérnico como um "astrólogo acima das estrelas... Este tolo quer inverter toda a ciência da astronomia. Mas as Sagradas Escrituras nos dizem que Josué ordenou ao Sol que ocupasse um lugar, e não a Terra". Mesmo os admiradores argumentavam que ele realmente não acreditava em um universo centrado no Sol, mas que o tinha meramente proposto como conveniência para os cálculos dos movimentos dos planetas.

A confrontação de uma época entre dois pontos de vista sobre o Cosmos — geocêntrico e heliocêntrico — atingiu o clímax nos séculos XVI e XVII na pessoa de um homem que, como Ptolomeu, era astrônomo e astrólogo. Ele viveu no tempo em que o espírito do homem era agrilhado e a mente trancafiada; quando os pronunciamentos eclesiásticos de um ou dois milênios anteriores sobre assuntos científicos eram considerados mais dignos de confiança do que as descobertas contemporâneas adquiridas com técnicas não disponíveis aos antigos; quando divergências, mesmo sobre assuntos teológicos misteriosos, das preferências doxológicas dominantes, católicas ou protestantes eram punidas com humilhação, taxaço, exílio, tortura ou morte. Os céus eram habitados por anjos e demônios, e a Mão de Deus girava as esferas planetárias de cristal. A ciência não concebia a idéia de que sustentando os fenômenos da Natureza deveriam estar as leis da física. Mas o esforço heróico e solitário deste homem inflamou a revolução científica moderna.

Johannes Kepler nasceu na Alemanha em 1571 e foi enviado a um seminário protestante na cidade provincial de Maulbronn ainda menino para vir a ser um clérigo. Era uma espécie

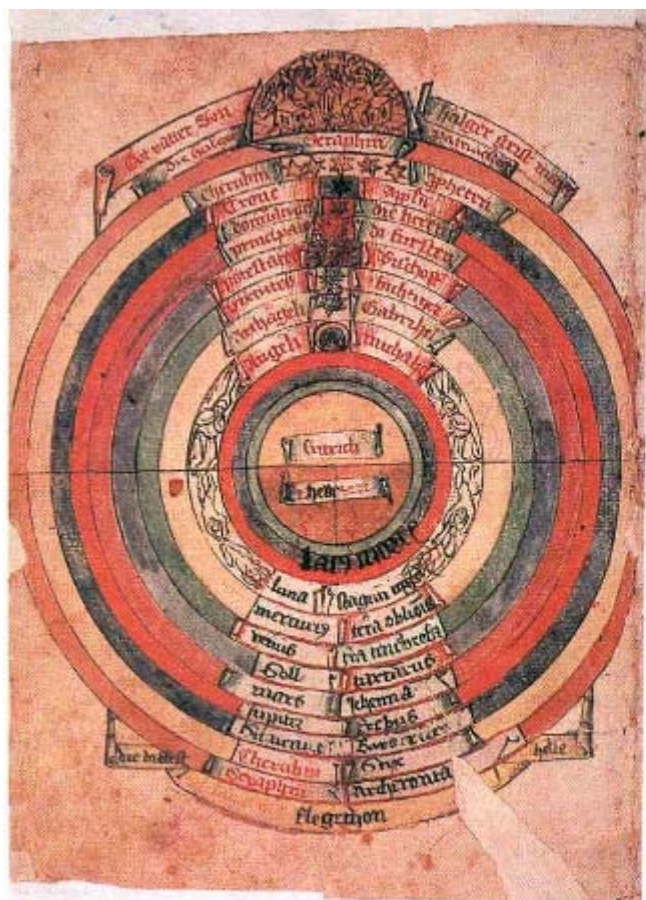
* Em um inventário recente de quase todas as cópias do século XVI dos cadernos de Copérnico, Owen Gingerich descobriu que a censura tinha sido ineficaz: somente 60% das cópias na Itália tinham sido "corrigidas", e nenhuma na Península Ibérica.



Página de calendário para o mês de novembro, mostrando Sagittarius, o Arqueiro. Manuscrito astrológico alemão, escrito em torno de 1450.



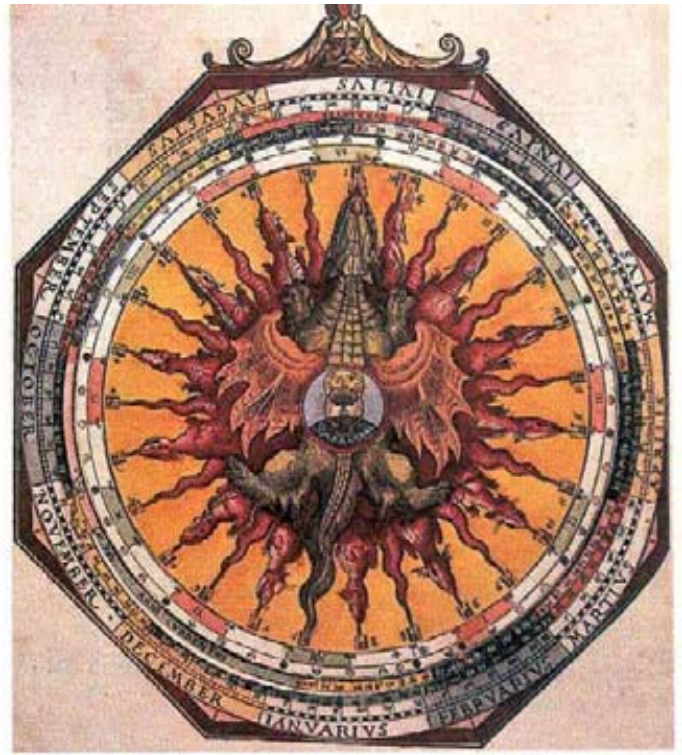
Discussão medieval da duração relativa do dia e da noite.



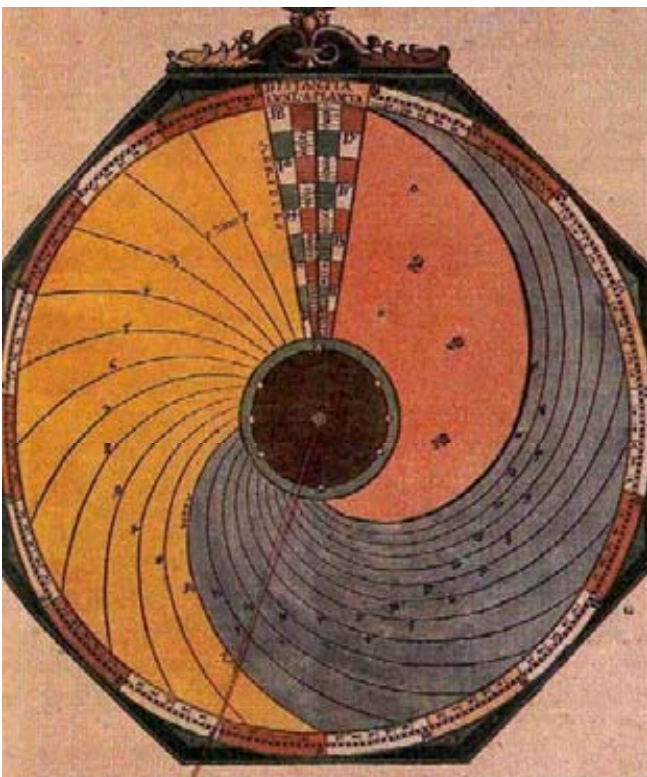
Universo geocêntrico pré-copernicano na Europa cristã. Ao centro, a Terra dividida em Céu (em castanho) e Inferno (em marrom). Os elementos água (verde), ar (azul) e fogo (vermelho) circundam a Terra. Movendo-se concentricamente para fora estão os círculos contendo os sete planetas, a Lua e o Sol, bem como as "Doze Ordens dos Espíritos Abençoados", os Querubins e os Serafins. Manuscrito alemão, c. 1450.



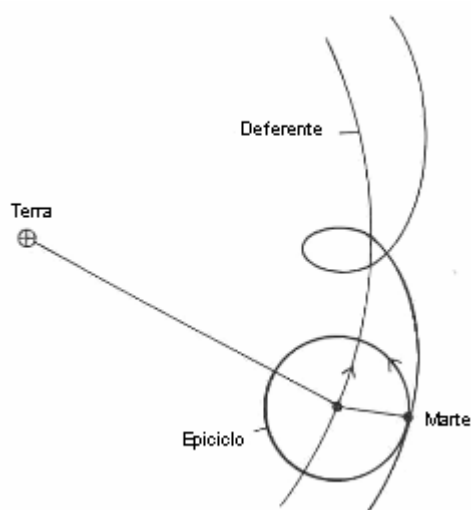
Os signos do Zodíaco, com o Sol e a Lua, no centro. Nos cantos estão os quatro ventos. As cores se referem aos quatro "elementos" terrestres, terra (marrom), ar (azul), água (verde) e fogo (vermelho). Manuscrito astrológico alemão, c. 1450.



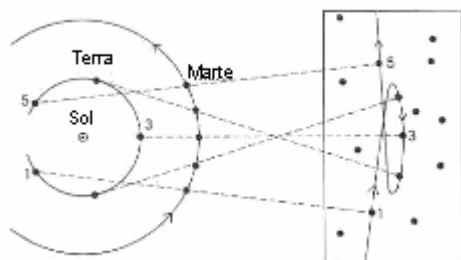
Documentos de cálculos com quatro discos móveis para previsão de eclipses solar e lunar. Do *Astronomicum Caesarium*, de Petrus Apianus, 1540.



À esquerda: Documento de cálculo para determinar quando a Lua atingiria uma das suas faces, em relação a um planeta. Era fixada uma pérola ao fio e usada como indicador. Do *Astronomicum Caesarium*. à direita: "Página planetária" para Mercúrio, que é representado pelo símbolo circular azul-escuro. Várias constelações circundam Mercúrio (Cassiopeia colocada logo abaixo, Órion matando um animal, à direita), e mais abaixo diversas atividades humanas que os astrônomos acreditavam serem governadas pelos planetas. Manuscrito astrológico alemão, c. 1450.



O sistema de Ptolomeu centrado na Terra, a pequena esfera chamada epiciclo, contendo o planeta, gira atada a uma esfera rotativa maior, produzindo o movimento retrógrado aparente contra o fundo das estrelas distantes.



No sistema de Copérnico, a Terra e os outros planetas se movem em órbitas circulares em torno do Sol. Quando a Terra alcança Marte, este último exhibe o seu movimento retrógrado aparente contra o fundo das estrelas distantes.

de acampamento militar treinando as mentes para serem utilizadas como arma teológica contra a fortaleza do Catolicismo Romano. Kepler, teimoso, inteligente e muito independente, suportou dois anos solitários, sem amigos, na gelada Maulbronn, tornando-se isolado e retirado, seus pensamentos devotados a imaginar sua indignidade perante os olhos de Deus. Arrependeu-se de mil pecados não mais perversos do que os dos outros, e desesperou-se para obter a salvação.

Deus tornou-se para ele mais do que uma fúria divina, objeto de súplicas. O Deus de Kepler era o poder criador do Cosmos. A curiosidade do menino conquistou o medo. Desejou aprender a escatologia do mundo; ousou contemplar a Mente de Deus. Estas visões perigosas, a princípio insubstanciais como a memória, tornaram-se uma obsessão que perdurou por toda a vida. Os anseios ardentes de uma criança-seminarista eram tirar a Europa da clausura do pensamento medieval.

As ciências da antigüidade clássica tinham sido silenciadas por mais de mil anos, mas no final da Idade Média alguns ecos débeis destas vozes, preservados pelos estudiosos árabes, começaram a se insinuar no currículo educacional europeu. Em Maulbronn, Kepler ouviu suas reverberações, estudando, além de teologia, grego e latim, música e matemática. Na geometria de Euclides pensou ter vislumbrado uma imagem da perfeição e glória cósmica. Mais tarde, escreveu: "A Geometria existiu antes da Criação. É co-eterna com a mente de Deus... A Geometria forneceu a Deus um modelo para a Criação... A Geometria é o próprio Deus".

No meio do êxtase matemático de Kepler, e a despeito de sua vida isolada, as imperfeições do mundo externo devem ter também moldado seu caráter. A superstição era uma panacéia disponível para as pessoas impotentes contra as misérias da fome, da peste e do conflito implacável da doutrina. Para muitos, a única certeza eram as estrelas, e o conceito astrológico antigo prosperou nos pátios e tabernas da Europa obcecados pelo medo. Kepler, cuja atitude sobre a astrologia permaneceu ambígua por toda a vida, perguntava-se se haveria aspectos escondidos subjacentes ao aparente caos da vida do dia-a-dia. Se o mundo tinha sido criado por Deus, não deveria ser examinado com muito cuidado? Não era toda a criação uma expressão da harmonia na mente de Deus? O livro da Natureza tinha esperado por mais de um milênio por um leitor.

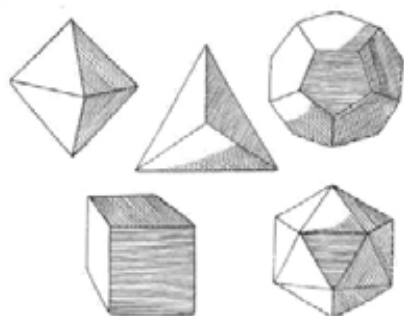
Em 1589, Kepler deixou Maulbronn para estudar para o clero na grande Universidade em Tübingen, e descobriu a sua libertação. Confrontado com as correntes intelectuais mais vitais da época, sua genialidade foi prontamente reconhecida por seus professores, um dos quais o introduziu nos mistérios perigosos da hipótese copernicana. Um universo heliocêntrico ecoou no senso religioso de Kepler, e este o adotou com fervor. O Sol era uma metáfora para Deus, em volta do qual tudo o mais girava. Antes de ser ordenado, perguntaram-lhe pelos votos seculares e ele, talvez por sentir-se indiferentemente adaptado a uma carreira eclesiástica, aceitou. Foi nomeado para Graz, Áustria, para ensinar matemática em uma escola secundária, e preparou, um pouco tarde, almanaques astronômicos e mete-

orológicos, distribuindo horóscopos. "Deus provê a cada animal seu meio de sustentação," escreveu ele, "para o astrônomo, Ele proveu a astrologia".

Kepler foi um brilhante pensador e um escritor lúcido, mas um desastre como professor. Resmungava. Divagava. Por vezes era totalmente incompreensível. Atraiu somente alguns alunos no seu primeiro ano em Graz, no seguinte, nenhum. E em uma agradável tarde de verão, mergulhado nos interstícios de uma de suas leituras intermináveis, foi tocado por uma revelação que alteraria radicalmente o futuro da astronomia. Talvez tivesse parado no meio de uma frase. Seus estudantes, dispersos, ansiando pelo término do dia, pouco notaram, eu suspeito, o momento histórico.

Havia somente seis planetas conhecidos naquela época: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. Kepler se perguntava por que somente seis? Por que não vinte ou cem? Por que teriam o espaço entre suas órbitas que Copérnico tinha deduzido? Ninguém havia feito estas perguntas antes. Conheciam-se cinco sólidos regulares ou "sólidos-platônicos", cujos lados eram polígonos regulares, como o sabiam os antigos matemáticos gregos após Pitágoras. Kepler pensou que os dois números estavam conectados, que a *razão* pela qual havia somente seis planetas era porque existiam somente cinco sólidos regulares, e que estes sólidos inscritos ou aninhados um dentro do outro especificariam as distâncias dos planetas do Sol. Nestas formas perfeitas ele acreditou que tinha reconhecido as estruturas de sustentação invisíveis das esferas dos seis planetas. Chamou sua revelação de O Mistério Cósmico. A conexão entre os sólidos de Pitágoras e a disposição dos planetas admitiam, não obstante, a explicação da Mão de Deus, o Geômetra.

Kepler estava maravilhado pelo fato de que ele — imerso, assim pensou, em pecado — tivesse sido escolhido pelo divino para fazer sua grande descoberta. Submeteu uma proposta para uma concessão de pesquisa ao Duque de Württemberg, oferecendo-se para supervisionar a construção de seus sólidos alojados como um modelo tridimensional, de modo que os outros poderiam vislumbrar a beleza da geometria pura. Poderia ser projetado em prata e pedras preciosas, e servir, casualmente, como cálice ducal. A proposta foi rejeitada com a observação gentil de que ele primeiro construiria uma versão menos dispendiosa, a qual Kepler prontamente respondeu: "O grande prazer que tive pela descoberta nunca poderá ser traduzido em palavras... Não a refutarei, não importa gastos nem dificuldades. Despendi dias e noites em cálculos matemáticos, até que pude ver se minha hipótese se ajustaria às órbitas de Copérnico, ou se minha alegria se esvaneceria no ar". Mas, a despeito de trabalhar duramente, os sólidos e as órbitas planetárias nunca se ajustaram bem. Entretanto, a distinção e a grandeza da teoria persuadiram-no que as observações deveriam estar erradas. Uma conclusão tirada em uma época na qual as observações não eram aceitas por muitos outros teóricos na história da ciência. Havia então somente um homem no mundo que tinha acesso a observações mais precisas das posições planetárias aparentes, um nobre dinamarquês exilado, que havia aceito o posto de



Os cinco sólidos perfeitos de Pitágoras e Platão. Veja o Apêndice 2. Desenhos de Brown.

Matemático Imperial na Corte do Sagrado Imperador Romano, Rudolf II. O homem era Tycho Brahe. Por acaso, a uma sugestão de Rudolf, ele havia convidado Kepler, cuja fama de matemático crescera, a juntar-se a ele em Praga.

Professor de província, de origem humilde, desconhecido de quase todos os matemáticos, Kepler desconfiou da oferta de Tycho, mas a decisão foi tomada à sua revelia. Em 1598, uma das muitas agitações que precederam a Guerra dos Trinta Anos o engolfaram. O arquiduque católico local, resoluto na certeza dogmática, prometeu solenemente "fazer da cidade um deserto ao invés de governar heréticos".* Os protestantes foram excluídos do poder econômico e político, a escola de Kepler fechada, e proibidos e considerados heréticos as preces, hinos e livros. Finalmente, o povo da cidade foi convocado e exames individuais na firmeza de suas convicções religiosas privadas, os que se recusaram a professar a fé católica romana sendo multados em um décimo de seus rendimentos e, sob pena de morte, exilados para sempre de Graz. Kepler escolheu o exílio: "Nunca aprendi a hipocrisia. Estou convicto da minha fé e não brinco com ela".

Deixando Graz, Kepler, sua mulher e sua enteada iniciaram uma jornada difícil até Praga. Não era um casamento feliz. Cro-

* Esta não foi, de modo algum, a advertência mais extremada na Europa medieval durante a Reforma. Perguntado como distinguir os piedosos dos infiéis em uma grande cidade albigense, Domingo de Guzmán, mais tarde conhecido como São Domingos, replicou: "Mate-os a todos. Deus saberá."



O Mistério Cósmico de Kepler, as esferas dos seis planetas abrigam os cinco sólidos perfeitos de Pitágoras e Platão. O sólido perfeito mais externo é o cubo. Desenhos de Brown.

nicamente sem saúde e tendo perdido recentemente duas crianças pequenas, sua mulher era descrita como "insensível, mal-humorada, solitária e melancólica". Não tinha compreensão do trabalho do marido, e tendo sido criada entre a classe média rural, desprezava sua profissão não rendosa. Ele, por seu lado, era alternadamente admoestado e ignorado por ela: "Minhas pesquisas algumas vezes me tornam descuidado, mas aprendi minha lição, aprendi a ter paciência com ela. Quando via que minhas palavras a machucavam, preferiria ter mordido meu próprio dedo do que a ofendê-la mais". Mas Kepler continuava preocupado com seu trabalho.

Visualizou o domínio de Tycho como um refúgio dos demônios da época, como o lugar onde o seu Mistério Cósmico seria confirmado. Aspirou tornar-se discípulo do grande Tycho Brahe, que por trinta e cinco anos tinha-se devotado, antes da invenção do telescópio, a medir um universo regular, ordenado e preciso. As expectativas de Kepler estavam para ser concretizadas. O próprio Tycho era uma figura vistosa, com um nariz de ouro, o original tendo sido perdido em um duelo de estudante supervisionado por um matemático superior. À volta dele havia um grupo-parasita de assistentes, sicofantas, parentes distantes e dependentes convictos. Suas orgias intermináveis, insinuações e intrigas, seus escárnios cruéis da educação provinciana rústica deprimiam e entristeciam Kepler: "Tycho... é superlativamente rico, mas não sabe como se utilizar disto. Qualquer um de seus instrumentos custa mais do que toda a minha fortuna e a da minha família juntas."

Impaciente para ver os registros astronômicos de Tycho, Kepler teve acesso somente a alguns: "Tycho não me deu oportunidade de partilhar de suas experiências. Menciona, no decorrer de uma refeição, entre outros assuntos, o dado do apogeu de um planeta hoje, amanhã os nodos do outro... Tycho possui as melhores observações... Tem também colaboradores, exceto o arquiteto que utiliza tudo para seu próprio benefício." Tycho foi o maior gênio observacional da época, e Kepler o maior teórico. Cada um sabia que, sozinho, seria incapaz de atingir uma síntese de um sistema de mundos preciso e coerente, que ambos percebiam iminente. Mas Tycho não tinha vontade de presentear o trabalho da sua vida inteira a um rival em potencial bem mais jovem. Unir a autoria dos resultados, se existisse algum, a um colaborador era, de alguma forma, inaceitável. O nascimento da ciência moderna — o produto da teoria e observação — oscilou no princípio das suas desconfianças mútuas. Nos dezoito meses finais da vida de Tycho, os dois discutiam e se reconciliavam repetidas vezes. Em um jantar oferecido pelo Barão de Rosenberg, Tycho, tendo ingerido vinho em excesso, "colocou a civilidade à frente da saúde" e resistiu à urgência fisiológica de retirar-se, mesmo por um instante, da presença do barão. A conseqüente infecção urinária piorou quando rejeitou violentamente o conselho de controlar a comida e a bebida. Em seu leito de morte, Tycho doou suas observações a Kepler e, "na última noite de seu delírio, repetiu várias vezes estas palavras, como alguém compondo um

poema: 'Não me deixem sentir que vivi em vão... Não me deixem sentir que vivi em vão' ".

Após a morte de Tycho, Kepler, então Matemático Imperial, lutou para extrair as observações do predecessor de sua família. Sua conjectura de que as órbitas dos planetas estavam circunscritas pelos cinco sólidos platônicos não era mais sustentada pelos dados de Tycho, nem pelos de Copérnico. Seu "Mistério Cósmico" foi desaprovado por inteiro pelas descobertas posteriores dos planetas Urano, Netuno e Plutão — não há sólidos platônicos adicionais* que determinem suas distâncias ao Sol. Os sólidos Pitagóricos encaixados não faziam concessão à existência da lua terrestre, e a descoberta de Galileo das quatro grandes luas de Júpiter também o derrotaram. Mas longe de ficar triste, Kepler desejou descobrir mais satélites e se perguntou quantos satélites teria cada planeta. Escreveu a Galileo: "Comecei imediatamente a pensar como poderia haver uma adição ao número de planetas sem voltar ao meu *Mysterium Cosmographicum*, aceitando que os cinco sólidos regulares de Euclides não permitem mais de seis planetas em torno do Sol... Estou tão longe de desacreditar na existência dos quatro planetas circunjovianos que desejei um telescópio para antecipar a você, se possível, a descoberta de dois em torno de Marte, como requer a proposição, seis ou oito em volta de Saturno, e talvez um em torno de Mercúrio e de Vênus". Marte realmente possui duas pequenas luas, e o acidente geológico principal na maior delas é, hoje em dia, chamado de Colina Kepler em sua honra. Mas ele estava totalmente equivocado no tocante a Saturno, Mercúrio e Vênus, e Júpiter possui muito mais luas do que descobriu Galileo. Ainda não sabemos realmente por que existem somente nove planetas, mais ou menos, e o porquê das suas distâncias relativas do Sol (Ver Capítulo 8).

As observações de Tycho sobre o movimento aparente de Marte e outros planetas por entre as constelações foram feitas por um período de vários anos. Estes dados, referentes às últimas décadas antes do telescópio ser inventado, foram os mais preciosos que já tinham sido obtidos. Kepler trabalhou com uma intensidade passional para entendê-los: que movimento real da Terra e de Marte em torno do Sol poderia explicar, para precisar a medida, o movimento aparente de Marte no céu, incluindo seu arco retrógrado contra o fundo das constelações? Tycho tinha comentado sobre Marte com Kepler, por parecer muito anômalo o seu movimento aparente e muito difícil de conciliar com uma órbita formada de círculos. (Para o leitor talvez aborrecido pelos seus inúmeros cálculos, ele escreveu mais tarde: "Se você estiver aborrecido com este procedimento tedioso, tenha pena de mim que efetuei pelo menos setenta tentativas").

Pitágoras, no século VI A.C., Platão, Ptolomeu e todos os astrônomos cristãos anteriores a Kepler assumiram que os planetas se moviam em órbitas circulares. Pensava-se ser o círculo uma forma geométrica "perfeita", e os planetas, colocados no alto dos céus, acima da "corrupção" terrena também tidos

* A prova pode ser constatada no Apêndice 2.

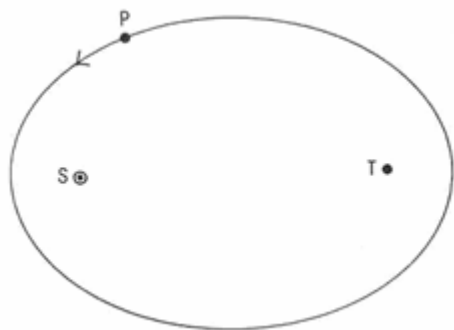
como "perfeitos" em um sentido místico. Galileo, Tycho e Copérnico, todos confiavam em um movimento planetário circular uniforme, o último afirmando que "a mente estremece" ante a alternativa, pois "seria infrutífero supor diferente em uma Criação constituída na melhor maneira possível". De modo que, a princípio, Kepler tentou explicar as observações imaginando que a Terra e Marte se moviam em órbitas circulares em torno do Sol.

Após três anos de cálculos, acreditou ter encontrado valores corretos para uma órbita circular marciana, que se igualava a 10 das observações de Tycho, dentro de dois minutos de arco. Há sessenta minutos de arco em um grau e 90 graus, um ângulo reto, do horizonte ao zênite. Poucos minutos de arco é uma quantidade muito pequena para ser medida, principalmente sem um telescópio. É igual a um-quinze avos do diâmetro angular da Lua cheia vista da Terra. Mas o êxtase repleto de Kepler logo se desfez em tristezas, pois duas das observações posteriores de Tycho eram inconsistentes com a órbita de Kepler, aumentavam para oito minutos de arco:

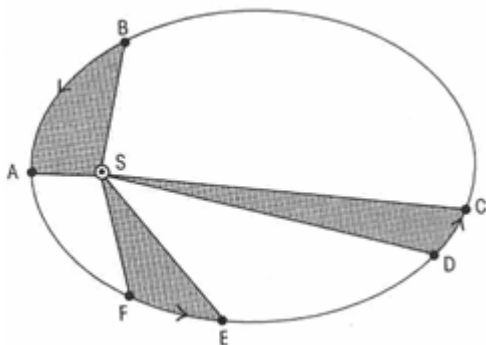
A Divina Providência nos concedeu um observador diligente em Tycho Brahe e suas observações nos convencem do... cálculo de um erro de oito minutos; somente é certo que devemos aceitar um presente de Deus com a mente agradecida... Se eu tivesse acreditado que pudéssemos ignorar estes oito minutos, teria conciliado minha hipótese. Mas, desde que não é permitido ignorar, estes oito minutos mostraram o caminho para uma reforma completa na astronomia.

A diferença entre uma órbita circular e uma verdadeira pode ser distinguida somente através da medição precisa e uma aceitação corajosa dos fatos: "O universo está imprimido com o adorno de proporções harmônicas, mas as harmonias devem acomodar a experiência". Kepler ficou abalado ao ser compelido a abandonar a órbita circular e questionar sua fé no Geômetra Divino. Esclarecendo a solidez da astronomia de círculos e espirais, foi deixado, disse ele, com "somente uma carroça de esterco", um círculo esticado como uma oval.

Casualmente, Kepler sentiu que sua fascinação pelo círculo tinha sido uma desilusão. A Terra era um planeta, como tinha dito Copérnico, e era inteiramente óbvio a Kepler que a Terra corrompida pelas guerras, peste, fome e infelicidade pouco tinha de perfeita. Kepler foi um dos primeiros desde a antigüidade a propor que os planetas eram objetos materiais feitos de substância imperfeita como a Terra. E se os planetas eram "imperfeitos", por que não também suas órbitas? Tentou várias curvas-ovais, calculou, cometeu alguns erros aritméticos (que o levou, a princípio, a rejeitar a resposta certa) e meses mais tarde, em desespero, tentou a fórmula de uma elipse, codificada pela primeira vez na Biblioteca de Alexandria por Apolônio de Perga. Descobriu que se ajustava maravilhosamente às observações de Tycho: "A verdade da Natureza, que rejeitei e desviei, retornou às escondidas pela porta dos fundos, distinguindo-se para ser aceita... Ah, que bobo tenho sido!"



Primeira lei de Kepler: Um planeta (P) se move em uma elipse, com o Sol (S) em um dos seus dois focos.



Segunda lei de Kepler: Um planeta percorre áreas iguais em tempos iguais. Leva o mesmo tempo para viajar de B a A, de F a E e de D a C; as áreas em sombra BSA, FSE e DSC são iguais.

Kepler tinha descoberto que Marte girava em torno do céu não em círculo, mas em uma elipse. Os outros planetas apresentam órbitas bem menos elípticas, e se Tycho tivesse incitado o estudo do movimento de Vênus, talvez Kepler nunca tivesse descoberto as órbitas verdadeiras dos planetas. Neste tipo de órbita, o Sol não está no centro, mas sim em um dos focos da elipse. Quando um determinado planeta está mais próximo do Sol, ele aumenta de velocidade, quando mais distante, ela diminui. Este movimento é a razão pela qual descrevemos os planetas como caindo sempre em direção, mas nunca atingindo o Sol. A primeira lei de Kepler de movimento planetário é simplesmente: Um planeta se move em uma elipse com o Sol em um dos focos.

Em um movimento circular uniforme, um ângulo igual ou fração de arco de um círculo é percorrido em tempos iguais. Por exemplo, despende-se duas vezes o tempo para percorrer dois-terços de um caminho em torno de um círculo do que o despendido para o terço restante. Kepler descobriu um aspecto diferente nas órbitas elípticas: enquanto o planeta se move ao longo da sua órbita, ele percorre uma pequena área em forma de cunha dentro da elipse. Quando está próximo do Sol, em um dado período de tempo, ele traça um grande arco em sua órbita, mas a área representada pelo arco não é muito grande porque o planeta está então próximo do Sol. Quando o planeta se encontra longe dele, percorre um arco muito menor no mesmo período de tempo, mas este arco corresponde a uma área maior porque o Sol está agora mais adiante. Kepler descobriu que estas duas áreas eram precisamente as mesmas, independente de quão elíptica fosse a órbita: a área comprida e estreita, correspondendo ao planeta longe do Sol, e a área mais curta e larga, quando o planeta está próximo dele, são exatamente iguais. Esta foi a segunda lei de Kepler de movimento planetário. Os planetas percorrem áreas iguais em tempos iguais.

As primeiras duas leis de Kepler podem parecer um pouco remotas e abstratas: planetas se movem em elipse e percorrem áreas iguais em tempos iguais. E então? O movimento circular é muito mais fácil de ser entendido. Talvez tenhamos uma tendência para diminuir estas leis como meros acertos matemáticos, algo tirado da vida diária, mas são leis que os nossos planetas obedecem como nós próprios, grudados pela gravidade na superfície da Terra, empurrados no espaço interplanetário. Movemo-nos de acordo com as leis da Natureza que Kepler descobriu. Quando enviamos naves espaciais aos planetas, quando observamos estrelas duplas, quando examinamos o movimento de galáxias distantes, descobrimos que no universo as leis de Kepler são obedecidas.

Anos mais tarde, Kepler formulou sua terceira e última lei de movimento planetário, uma lei que relaciona o movimento de vários planetas uns com os outros, que exhibe corretamente a precisão do sistema solar. Ele a descreveu em um livro chamado *As Harmonias do Mundo*. Kepler compreendeu muitas coisas através da palavra harmonia; a ordem e beleza do movimento planetário, a existência de leis matemáticas explicando que o movimento — uma idéia que remonta a Pitágoras — é mesmo

harmonia no sentido musical, a "harmonia das esferas". Diferente das órbitas de Mercúrio e Marte, as dos outros planetas pouco se desviam da circularidade e não podemos determinar suas formas verdadeiras mesmo em um diagrama extremamente preciso. A Terra é a nossa plataforma móvel da qual observamos o movimento dos outros planetas contra o fundo das constelações distantes. Os planetas internos movem-se rapidamente em suas órbitas — é a razão do nome do primeiro deles. Mercúrio era o mensageiro dos deuses. Vênus, Terra e Marte movem-se progressivamente com menos rapidez em torno do Sol. Os planetas exteriores como Júpiter e Saturno movem-se mais devagar, como convém aos reis dos deuses.

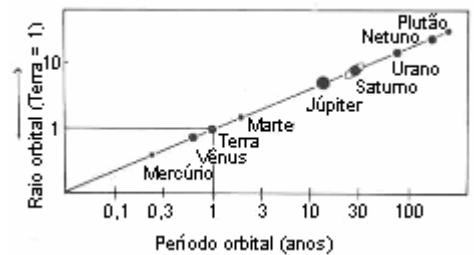
A terceira lei ou lei harmônica de Kepler diz que os quadrados dos períodos dos planetas (o tempo despendido para completar uma órbita) são proporcionais ao cubo das suas distâncias médias do Sol; quanto mais distante o planeta, mais lentamente ele se move, mas de acordo com uma precisa lei matemática $P^2 = a^3$, onde P representa o período de revolução de um planeta em torno do Sol medido em anos, e a a distância do planeta do Sol medida em "unidades astronômicas". Uma unidade astronômica é a distância da Terra ao Sol; Júpiter, por exemplo, está a cinco unidades astronômicas do Sol, e $a^3 = 5 \times 5 \times 5 = 125$. Que número multiplicado por si mesmo é igual a 125? 11 se aproxima bastante, e 11 anos são o período despendido por Júpiter para completar uma volta em torno do Sol. Deduções similares se aplicam a todos os planetas, asteróides e cometas.

Não satisfeito em meramente ter extraído da Natureza as leis do movimento planetário, Kepler esforçou-se para descobrir uma causa subjacente ainda mais fundamental, alguma influência do Sol na cinemática dos mundos. Os planetas aumentam sua velocidade quando se aproximam do Sol, e a diminuem quando se afastam dele. De alguma forma os planetas distantes sentem a presença do Sol. O magnetismo era também uma influência sentida à distância, e em uma antecipação surpreendente da gravitação universal, Kepler sugeriu que a causa subjacente seria semelhante ao magnetismo:

Meu objetivo quanto a este assunto é mostrar que a máquina celeste deve ser comparada não a um organismo divino, mas sim a um mecanismo de relógio..., até agora quase todos os movimentos diversos são conduzidos por meio de uma única e bem simples força magnética, como no caso do mecanismo do relógio [onde] todos os movimentos [são causados] por um simples peso.

O magnetismo não é, naturalmente, a mesma força que a gravidade, mas a inovação fundamental de Kepler desta vez nada teve de espantoso; ele propôs que leis físicas quantitativas, que eram aplicadas na Terra, também fossem os alicerces das leis físicas quantitativas que governam os céus. Foi a primeira explicação não-mística do movimento nos céus, e colocou a Terra como uma província do Cosmos. "Astronomia", disse, "é parte da física". Kepler é um marco na história: o último astrólogo científico foi o primeiro astrofísico.

Ele colocou suas descobertas nestas palavras, já que não era dado a frases simples:



Terceira lei de Kepler ou lei harmônica, relação precisa entre o tamanho da órbita de um planeta e o período gasto por ele para completar uma volta em torno do Sol. Isto se aplica nitidamente a Urano, Netuno e Plutão, planetas descobertos bem depois da morte de Kepler.

Com esta sinfonia de vozes, o homem pode atravessar a eternidade do tempo em menos de uma hora, e provar em pequena escala o deleite de Deus, o Supremo Artista... Eu me entrego livremente ao sagrado frenesi... a sorte está lançada e estou escrevendo o livro para ser lido tanto agora como pela posteridade, não importa. Pode esperar um século pelo leitor, pois o Próprio Deus esperou 6.000 anos por um testemunho.

Pela "sinfonia de vozes", Kepler acreditou que a velocidade de cada planeta correspondia a determinada nota na escala musical latina popular em sua época — dó, ré, mi, fá, sol, lá si, dó. Afirmava que, na harmonia das esferas, os tons da Terra eram fá em mi, eternamente murmurados, e que eram o caminho direto para a palavra latina que corresponde à fome. Argumentou, com razão, que a Terra era melhor descrita por aquela única e dolorosa palavra.

Exatamente oito dias após a descoberta da terceira lei, o incidente que desencadeou a Guerra dos Trinta Anos transpirou em Praga. As convulsões da Guerra despedaçaram a vida de milhões, entre eles Kepler. Perdeu mulher e filho em uma epidemia disseminada por soldados, seu padrão real foi deposto, e ele excomungado pela igreja luterana pelo seu individualismo descompromissado em assuntos da doutrina. Kepler novamente se tornou um refugiado. O conflito, sustentado por católicos e protestantes como uma guerra santa, era mais uma exploração do fanatismo religioso pelos ávidos de poder e terras. No passado a guerra tendia a ser resolvida quando os príncipes beligerantes exauriam seus recursos, mas agora a pilhagem organizada tinha sido introduzida como meio de manter as armas em campo. A população selvagem da Europa manteve-se sem proteção, enquanto relhas e podadeiras eram literalmente transformadas em espadas e lanças.*

Ondas de boatos e paranóias varriam as regiões rurais envolvendo principalmente os não-poderosos. Entre os muitos bodes-expiatórios escolhidos estavam as mulheres mais velhas que viviam sós e eram acusadas de feiticeiras; a mãe de Kepler foi levada no meio de uma noite em um cesto de roupas. Na sua pequena cidade natal, Weil der Stadt, três mulheres foram torturadas e mortas como feiticeiras a cada ano entre 1615 e 1629. E Katharina Kepler era uma mulher velha e má. Tinha-se engajado em disputas que aborreceram a nobreza local, e vendido soporíferos e talvez drogas alucinógenas como o faziam as curandeiras contemporâneas mexicanas. O pobre Kepler acreditou que tinha contribuído para a prisão dela.

Isto aconteceu porque Kepler escreveu um dos primeiros livros de ficção científica, tentando explicar e popularizar a ciência, cujo nome era *Somnium*, O Sonho. Ele imaginou uma viagem à Lua, os viajantes espaciais na superfície lunar observando o adorável planeta Terra girando lentamente no céu acima deles. Mudando de perspectiva podemos imaginar como os mundos se comportam. Na época de Kepler uma das princi-

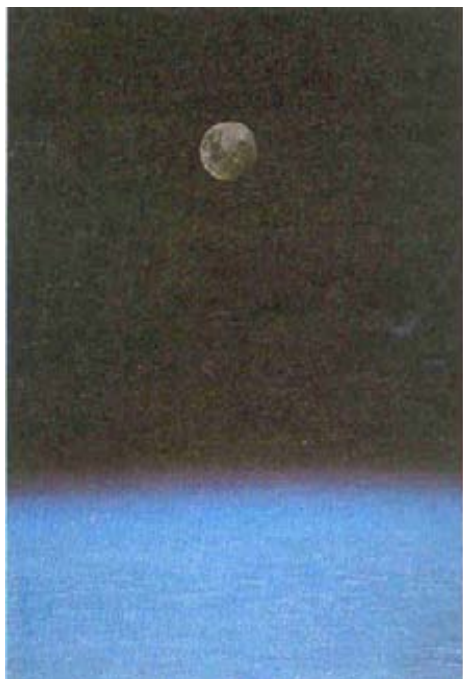
*Alguns exemplos podem ser vistos ainda na heráldica de Graz.

pais objeções à idéia de que a Terra girava era o fato das pessoas não sentirem o movimento. No *Somnium* ele tentou mostrar a rotação da Terra como plausível, dramática e compreensível. "Enquanto a multidão não errar... eu estarei ao lado deles. Portanto, tenho vários problemas para explicar a tantas pessoas quanto possível." (Em outra ocasião, escreveu em uma carta: "Não me condenem totalmente à roda do moinho dos cálculos matemáticos — dêem-me tempo para especulações filosóficas, meu único deleite."*)

Com a invenção do telescópio, aquilo que Kepler chamou de "geografia lunar" estava se tornando possível. No *Somnium*, descreveu a Lua como repleta de montanhas e vales, e como "porosa, como se cavada com buracos e cavernas contínuas", uma referência às crateras lunares que Galileu tinha descoberto recentemente com o primeiro telescópio astronômico. Também imaginou que a Lua tinha habitantes, bem adaptados às inclemências do ambiente local. Descreveu a lenta rotação da Terra vista da superfície lunar e imaginou os continentes e oceanos do nosso planeta produzindo alguma imagem associativa como o Homem na Lua. Visualizou a proximidade do Sul da Espanha com o Norte da África, no estreito de Gibraltar, como uma jovem mulher em um vestido encorpado esperando o seu amor para ser beijada — embora me pareça mais como narizes se roçando.

Por causa da duração do dia e da noite lunares, Kepler descreveu "as grandes imoderações de clima e alterações mais violentas de calor e frio extremos na Lua" que estavam inteiramente corretas. Mas nem tudo estava certo. Ele acreditou, por exemplo, que havia uma atmosfera lunar substancial, e oceanos e habitantes. O mais curioso na sua visão da origem das crateras lunares que formavam a Lua, ele disse, era que "não parecia diferente do rosto de um menino desfigurado pela varíola". Sustentou, com correção, que as crateras seriam depressões e não montículos. Pelas suas próprias observações notou as muralhas circundando muitas crateras e a existência de picos centrais, mas pensou que suas formas circulares regulares implicavam em um grau de ordem que somente a vida inteligente poderia explicá-las. Não compreendeu que as grandes rochas

*Brahe, como Kepler, não hostilizava a astrologia, embora cuidadosamente distinguísse sua única versão secreta de astrologia das variações mais comuns da sua época, que ele tinha como condutoras à superstição. Em seu livro, *Astronomiae Instauratae Mechanica*, publicado em 1598, sustentou que a astrologia é "realmente mais digna de confiança do que se pensa", se o mapeamento da posição das estrelas fosse apropriadamente ampliado. Brahe escreveu: "Ocupei-me com a alquimia, assim como com minhas pesquisas celestes, desde meu 23.º ano". Mas sentiu que ambas estas pseudociências encerravam segredos muito perigosos para o povo em geral (embora inteiramente seguro nas mãos de príncipes e reis as quais ele recorria). Brahe continuou a longa e verdadeiramente perigosa tradição de alguns cientistas que acreditavam que somente eles e os poderes temporais e eclesiásticos podiam ser confiados pelo conhecimento misterioso. "Não serve a nenhum propósito útil e é intolerável tornar certas coisas conhecidas por todos." Kepler, por outro lado, ensinou astronomia em escolas, publicou muitas vezes às suas próprias custas, e escreveu ficção científica, que certamente não era a intenção primeira dos seus companheiros cientistas. Talvez não tenha sido, nos moldes atuais, um escritor popular de ciência, mas a transição de atitudes em uma única geração entre Tycho e Kepler é reconhecida.



A Lua vista da Terra: Perspectiva além da atmosfera.

caindo do céu produziram uma explosão local, perfeitamente simétrica em todas as direções e que esculpiriam uma cavidade circular — a origem do tamanho das crateras na Lua e em outros planetas terrestres. Em vez disso deduziu "a existência de alguma raça racionalmente capaz de construir aquelas cavidades na superfície da Lua. Esta raça deveria ter muitos indivíduos, de modo que um grupo coloca uma cavidade em uso enquanto outro grupo constrói outra cavidade. Contra a opinião que tais projetos de grande construção eram improváveis, Kepler oferecia exemplos como as pirâmides do Egito e a Grande Muralha da China, que, de fato, podem ser vistas hoje da órbita da Terra. A idéia de que a ordem geométrica revelava uma inteligência subjacente era o cerne na vida de Kepler. Seu argumento sobre as crateras lunares é uma clara pressuposição da controvérsia dos canais marcianos (Capítulo 5). É admirável que a procura por uma vida extraterrestre começasse na mesma geração da invenção do telescópio e com o maior teórico da época.

Partes do *Somnium* eram claramente autobiográficas. O herói, por exemplo, visita Tycho Brahe. Tem pais que vendem drogas. Sua mãe se relaciona com espíritos e demônios, um dos quais casualmente providencia meios para viagem à Lua. O *Somnium* nos deixa claro, embora não o fizesse a todos os contemporâneos de Kepler, que "em um sonho deve ser permitida a liberdade de imaginar uma vez ou outra algo que nunca existiu no mundo da percepção sensitiva". A ficção científica era uma idéia nova na época da Guerra dos Trinta Anos, e o livro de Kepler foi utilizado como uma evidência de que sua mãe era uma feiticeira.

Em meio de outros graves problemas pessoais, Kepler precipitou-se a Württemberg para encontrar sua velha mãe de setenta e quatro anos presa em um calabouço secular protestante e ameaçada de tortura como Galileo, em um outro católico. Começou, como um cientista naturalmente faria, a procurar explicações naturais para os vários eventos que tinham precipitado as acusações de feitiçaria, inclusive doenças físicas sem importância que os burgueses de Württemberg tinham atribuído a seus poderes. A pesquisa foi um sucesso e um triunfo, como o foi a maior parte do resto de sua vida, da razão sobre a superstição. Sua mãe foi exilada, com uma sentença de morte se voltasse a Württemberg, e o espírito de defesa de Kepler aparentemente induziu um decreto do Duque proibindo novas provas de feitiçarias sob evidências tão tênues.

Os levantes da guerra suprimiram muito do apoio financeiro de Kepler, e o final de sua vida foi agitado, pleiteando dinheiro e fiadores. Montou horóscopos para o Duque de Wallenstein, como tinha feito para Rudolf II, e passou seus últimos anos em uma cidade silesiana controlada por Wallenstein e chamada Sagan. Seu epitáfio, composto por ele mesmo, foi: "Media os céus, agora meço as trevas. O Espírito é celeste, aqui jaz a sombra do corpo". Mas a Guerra dos Trinta Anos destruiu seu túmulo. Se fosse erigido um marco hoje, deveria ter inscrito, em homenagem à sua coragem científica: "Preferiu a dura verdade às suas meigas ilusões".

Johannes Kepler acreditou que haveria um dia "naves celestiais que viajariam adaptadas aos ventos dos céus", navegando no céu, cheias de exploradores, "que não temeriam a vastidão" do espaço. E hoje estes exploradores, homens e robôs empregam, como guias infalíveis em suas viagens através da vastidão do espaço, as três leis de movimento planetário que Kepler descobriu durante uma vida de agonias pessoais e descoberta do êxtase.

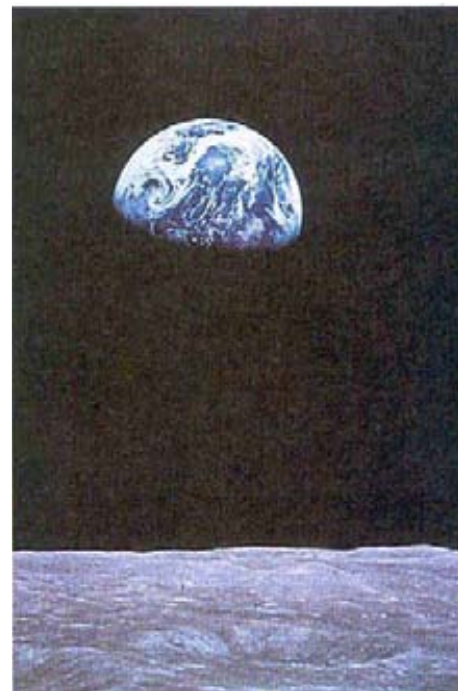
A pergunta de Johannes Kepler que lhe acompanhou durante a vida, a compreensão do movimento dos planetas, a procura de uma harmonia nos céus, culminou trinta e seis anos após a sua morte no trabalho de Isaac Newton. Newton nasceu no dia de Natal de 1642, tão pequeno que sua mãe lhe revelou, anos mais tarde, que tinha sido colocado em uma caneca de quarto. Doente, sentindo-se abandonado pelos pais, briguento, insociável, casto até a sua morte, Isaac Newton foi talvez o maior gênio científico que já viveu.

Mesmo quando jovem, Newton era impaciente com questões não substanciais, tais como se a luz seria "uma substância ou um acidente", ou como a gravidade poderia agir sobre um vácuo interposto. A princípio concluiu que a fé cristã convencional na Trindade era a má interpretação das Escrituras. De acordo com o seu biógrafo, John Maynard Keynes:

Era mais um monoteísta judaico da escola de Maimonides. Chegou a esta conclusão não através de bases céticas ou racionais do que ouviu falar, mas totalmente baseado na interpretação ancestral. Foi persuadido que os documentos revelados não sustentavam as doutrinas da Trindade, devido às últimas falsificações. O Deus Revelado era um Deus, mas isto era um segredo tremendo pelo qual Newton passava tormentos desesperados para ocultar por toda a sua vida.

Como Kepler, não era imune às superstições da sua época e teve muitos encontros com o misticismo. Na realidade, muito do desenvolvimento intelectual de Newton pode ser atribuído à sua tensão entre o racionalismo e o misticismo. No Mercado de Stourbridge, em 1663, aos vinte anos, comprou um livro sobre astrologia "sem a curiosidade de saber o que continha". Ele o leu até chegar a uma ilustração a qual não entendeu porque não sabia trigonometria. Comprou então um livro sobre o assunto, mas logo sentiu-se incapaz de seguir os argumentos geométricos. Encontrou uma cópia dos *Elementos de Geometria*, de Euclides, e começou a lê-la. Dois anos depois inventou o cálculo diferencial. Como estudante, Newton era fascinado pela luz e muito mais pelo Sol. Dedicava-se à prática perigosa de observar a sua imagem através de um espelho:

Em poucas horas, forcei meus olhos a tal ponto, que não posso olhar nenhum objeto brilhante com nenhum dos olhos, mas vejo o Sol diante de mim, de modo que não



A Terra vista da Lua: A visão imaginada por Kepler.

ouso escrever ou ler; mas para restabelecer o uso dos meus olhos, encerrar-me-ei em meu quarto escuro por três dias consecutivos e me utilizarei de todos os meios para desviar a minha imaginação do Sol, pois ao pensar nele vejo sua figura, embora esteja no escuro.

Em 1666, com vinte e três anos, Newton era estudante na Universidade de Cambridge, quando um surto de peste forçou-o a passar um ano de ociosidade na isolada vila de Woolsthorpe, onde havia nascido. Ocupou-se inventando o cálculo diferencial e integral, fazendo descobertas fundamentais sobre a natureza da luz e lançando os fundamentos da teoria da Gravitação Universal. O único outro ano semelhante na história da física foi o "Ano Milagroso" de Einstein, em 1905. Quando perguntado como efetuara suas descobertas admiráveis, Newton replicou: "Pensando sobre elas". Seu trabalho era tão significativo que seu professor em Cambridge, Isaac Barrow, demitiu-se da cadeira de matemática em seu favor, cinco anos após o estudante ter retornado ao colégio.

Newton, aos quarenta e poucos anos, foi descrito pelo seu criado assim:

Nunca soube que ele tivesse alguma recreação ou passatempo como passear para pegar ar fresco, andar, jogar bola ou qualquer outro exercício, pensando serem horas perdidas aquelas não devotadas ao estudo, ao qual se mantinha sempre voltado, de modo que raramente deixava seu quarto, exceto [para ler] na hora da palestra... quando poucos vinham ouvi-lo, somente alguns o entendiam, pois muitas vezes ele lia como se o estivesse fazendo para as paredes".

Alunos tanto de Kepler como de Newton nunca souberam o que estavam perdendo.

Newton descobriu a lei da inércia, a tendência de um objeto em movimento continuar a mover-se em linha reta a menos que alguma coisa o influenciasse e o retirasse do caminho. A Lua parecia a Newton mover-se em linha reta, tangencial à sua órbita, a menos que houvesse alguma outra força desviando constantemente o caminho para próximo a um círculo, empurrando-a na direção da Terra. A esta força Newton chamou de gravidade, e acreditou que agia à distância. Não há nada fisicamente unindo a Terra à Lua, embora a primeira esteja constantemente puxando a segunda em nossa direção. Usando a terceira lei de Kepler, Newton deduziu matematicamente a natureza da força gravitacional.* Mostrou que a mesma força que puxa a maçã para o solo da Terra mantém a Lua em sua órbita e justifica as revoluções das então recentemente descobertas luas de Júpiter em suas órbitas em torno do planeta distante.

*Infelizmente Newton não reconheceu seu débito com Kepler em sua obra-prima, *Principia*. Mas em uma carta em 1686 a Edmund Halley, disse da sua lei da gravidade: "Posso afirmar que a deduzi do teorema de Kepler de vinte anos atrás".

As coisas caíam no solo desde o início. Que a Lua girava em torno da Terra, sempre acreditaram por toda a história da humanidade. Newton foi a primeira pessoa a imaginar que estes dois fenômenos eram decorrentes da mesma força. Este é o significado da palavra "universal", como foi aplicado à gravitação newtoniana. A mesma lei de gravidade se aplica a qualquer local do universo.

É uma lei do inverso do quadrado. A força declina inversamente ao quadrado da distância. Se dois objetos forem afastados para duas vezes mais longe, a gravidade que os atrairá terá somente um quarto de força. Se forem afastados dez vezes mais, a gravidade será o quadrado de 10, $10^2 = 100$ vezes mais fraca. Claramente, a força deve ser, em algum sentido, inversa, isto é, declinando com a distância. Se a força fosse direta, isto é, aumentasse com a distância, então a maior força atuaria sobre os objetos mais distantes, e eu suponho que toda a matéria no universo se acharia se unindo em uma única massa cósmica. A gravidade diminui com a distância, sendo o porquê de um cometa ou planeta mover-se mais lentamente quando longe do Sol e com maior rapidez quando mais próximo, a gravidade sendo mais fraca quando mais longe ele estiver do Sol.

Todas as três leis de Kepler sobre movimento planetário podem ser derivadas dos princípios newtonianos. As leis de Kepler eram empíricas, baseadas em observações meticulosas de Tycho Brahe. As de Newton eram teóricas, mais do que simples observações matemáticas das quais todas as medidas de Tycho podiam definitivamente ser derivadas. Destas leis, Newton escreveu, com um orgulho indisfarçado, no *Principia*: "Agora demonstro a composição do Sistema do Mundo".

Posteriormente, Newton presidiu a Royal Society, uma sociedade de cientistas, e foi diretor da Casa da Moeda onde devotou suas energias à supressão da falsificação da cunhagem. Sua reclusão e mau humor naturais aumentaram; resolveu abandonar os esforços científicos que o levaram a disputas ferrenhas com outros cientistas, principalmente em questões de prioridade; e lá havia os que espalhavam histórias de que ele tinha experimentado o equivalente, no século XVII, a um "colapso nervoso". Entretanto, Newton continuou suas experiências por toda a sua vida na fronteira entre a alquimia e a química, e algumas evidências recentes sugerem que estava sofrendo não tanto de uma doença psicogênica, mas de envenenamento por metal pesado, induzido por ingestão sistemática de pequenas quantidades de arsênico e mercúrio. Era uma prática comum aos químicos da época usar o sentido do tato como um instrumento analítico.

Contudo, seus prodigiosos poderes intelectuais persistiram imbatíveis. Em 1696, o matemático suíço Johann Bernoulli desafiou seus colegas a resolverem uma questão sem solução chamada o problema braquistócrono, especificando a curva de ligação de dois pontos deslocados um do outro lateralmente ao



Isaac Newton. Pintura de Jean-Leon Huens, © National Geographic Society.

longo da qual um corpo agindo somente pela gravidade cairia no menor tempo. Bernoulli originalmente especificou um tempo de seis meses, mas o estendeu para um ano e meio a pedido de Leibniz, um dos principais estudiosos da época, e o homem que tinha, independentemente de Newton, inventado o cálculo diferencial e integral. O desafio foi entregue a Newton às 4 horas da tarde de 29 de janeiro de 1697. Antes de sair para trabalhar na manhã seguinte, tinha inventado um novo ramo inteiro da matemática chamado cálculo das variáveis, utilizando-o para resolver o problema braquistócrono, e enviado a solução, que foi publicada a pedido de Newton anonimamente. Mas o brilho e a originalidade do trabalho traiu a identidade do autor. Quando Bernoulli viu a solução, comentou: "Conhecemos o leão pelas suas garras". Newton tinha então cinquenta e cinco anos.

A maior conquista intelectual de seus últimos anos foi um acordo das cronologias das civilizações antigas, apoiado na tradição dos historiadores Manetho, Estrabão e Eratóstenes. Em seu último trabalho, póstumo, "A Cronologia Reparada dos Reinos antigos", encontramos repetidas calibrações astronômicas de eventos históricos, uma reconstrução arquitetônica do Templo de Salomão e uma reivindicação provocativa para nomearem todas as constelações do Hemisfério Norte com os nomes dos personagens, engenhos e eventos da história grega de Jasão e seus argonautas; e a suposição consistente de que os deuses de todas as civilizações, com uma única exceção do de Newton, eram meramente reis e heróis antigos deificados por gerações posteriores.

Kepler e Newton representam uma transição crítica na história do homem, a descoberta que leis matemáticas bem simples prevalecem em Natureza, que as mesmas leis se aplicam na Terra e nos céus, e que existe uma ressonância entre o modo que pensamos e o modo que o mundo age. Respeitavam sem vacilos a precisão dos dados observacionais, e suas previsões de alta precisão sobre o movimento dos planetas forneceram uma evidência impulsora que, a um nível inesperadamente profundo, os homens podem entender o Cosmos. Nossa civilização global moderna, nossa visão do mundo e nossa atual exploração do universo são profundamente reconhecidas aos seus discernimentos.

Newton defendia suas descobertas e competia ferozmente com seus colegas cientistas. Não se importou em esperar uma década ou duas após sua descoberta para publicar a lei do inverso do quadrado. Diante da grandiosidade e complexidade da Natureza era, como Ptolomeu e Kepler, alegre e tremendamente modesto. Um pouco antes da sua morte, escreveu: "Não sei como pareço para o mundo, mas para mim, sinto-me so-

mente como um menino brincando na praia e divertindo-me, achando aqui e ali um seixo mais liso ou uma concha mais bonita do que o comum, enquanto o grande oceano da verdade permanece totalmente desconhecido diante de mim".



Cometa West, fotografado da Terra, em fevereiro de 1976, por Martin Grossman, da Gromau, Alemanha Ocidental. A grande cauda é impelida do núcleo gelado do cometa por um vento formado de prótons e elétrons, proveniente do Sol, que se pôs abaixo do horizonte.



Capítulo IV

CÉU E INFERNO

Lembro-me de nove mundos.

— Edda islandesa de Snorri Sturluson, 1200

Tornei-me a morte, o mais frágil dos mundos.

— *Bhagavad Gita*

As portas do céu e do inferno são adjacentes e idênticas.

— Nikos Kazantzakis, *A Última Tentação de Cristo*

A TERRA É UM LOCAL ADORÁVEL E MAIS OU MENOS PLÁCIDO. AS coisas mudam, embora lentamente. Podemos atravessar uma vida inteira sem pessoalmente encontrar um desastre natural mais violento do que uma tempestade. Então tornamo-nos complacentes, relaxados e indiferentes. Mas na história da natureza o registro é claro. Mundos foram devastados. Até nós, seres humanos, atingimos a dúbia distinção técnica de sermos capazes de provocar nossos próprios desastres, tanto intencionais quanto inadvertidos. Nas paisagens de outros países, onde os registros do passado foram preservados, há evidências abundantes de grandes catástrofes. Tudo é uma questão de escala de tempo. Um evento inimaginável em uma centena de anos talvez seja inevitável em um milhão de anos. Mesmo na Terra, em nosso século, ocorreram eventos naturais bizarros.

Nas primeiras horas da manhã de 30 de junho de 1908 na Sibéria Central, uma gigantesca bola de fogo foi vista atravessando rapidamente o céu. Quando tocou o horizonte, houve uma enorme explosão. Arrasou cerca de 2.000 quilômetros quadrados de florestas e queimou milhares de árvores em um clarão de fogo próximo ao local do impacto. Produziu uma onda de choque atmosférico que circundou a Terra duas vezes. Por dois dias seguidos, persistiu tanta poeira fina na atmosfera que se conseguia ler um jornal à noite com a luz dispersa das ruas de Londres, a 10.000 quilômetros.



O geólogo soviético L. A. Kulik (à direita) e um assistente inspecionam o local do Evento de Tunguska de 1908, na Sibéria Central, na primavera de 1930. Kulik está classificando um teodolito e usando uma rede protetora contra mosquitos. Cortesia da Sovfoto.

O governo dos czares da Rússia não podia ser incomodado para investigar um evento tão trivial que, afinal, tinha ocorrido muito longe, entre os tunguses, povo atrasado da Sibéria. Passaram-se dez anos após a Revolução até que uma expedição chegou para examinar o solo e testemunhar os indícios. Estes são alguns dos relatos que trouxeram:

Cedo pela manhã, enquanto todos dormiam, as tendas, explodiram no ar junto com seus ocupantes. Quando caíram de volta na Terra, a família inteira sofreu leves contusões, mas Akulina e Ivan Perderam realmente a consciência. Quando a recobramos, escutaram muito barulho e viram a floresta à volta em chamas, e grande parte dela devastada.

Estava sentado na entrada da casa na estação comercial de Vanovara na hora do café da manhã e olhando na direção norte. Tinha acabado de levantar o machado para segurar um barril, quando de repente o céu foi partido em dois, e bem acima da floresta, toda a parte norte do céu parecia coberta de fogo. Naquele instante senti muito calor como se minha camisa estivesse pegando fogo... Tive vontade de tirá-la e jogá-la fora, mas então houve uma explosão no céu e escutamos um tremendo estampido. Fui atirado ao solo a três sagenas de distância da entrada e por um momento perdi a consciência. Minha mulher me pegou e colocou-me dentro da cabana. O estampido foi seguido de um barulho como o de pedras caindo do céu, ou revólveres atirando. Naquele momento, quando o céu abriu, um vento quente, como o proveniente de um canhão, passou pelas cabanas vindo do norte e deixou sua marca no chão.

Quando sentei para tomar meu café da manhã ao lado do arado, escutei estampidos, como os de uma arma. Meu cavalo caiu de joelhos. Do lado norte acima da floresta subiu uma chama... Então vi que a floresta de abetos tinha vergado pelo vento e pensei em um furacão. Agarrei-me ao arado com ambas as mãos para que não fosse levado. O vento era tão forte que carregava a terra da superfície do solo, e então o furacão despejou uma parede de água sobre Angara. Vi com clareza, pois a minha terra é uma colina.

O estrondo assustou tanto os cavalos que alguns galoparam em pânico, arrastando os arados em direções diferentes, e outros caíram.

Os carpinteiros, após o primeiro e segundo estrondos, ficaram estupefatos, e quando houve o terceiro, eles caíram sobre as aparas de madeira. Alguns estavam tão atordoados e aterrorizados que tive que tranquilizá-los. Todos abandonamos os trabalhos e fomos para a vila. Lá, multidões inteiras de habitantes locais estavam nas ruas, aterrorizados e comentando o fenômeno.

Eu estava nos campos... e tinha acabado de pegar um cavalo para atrelar e pegava outro, quando de repente ouvi o que me pareceu como um único tiro à direita. Imediatamente virei e vi um objeto flamejante alongado atravessando o céu. A parte da frente era muito mais larga do que o final da cauda, e sua cor, a do fogo à luz do dia. Era muito maior do que o Sol, mas menos brilhante, de modo que era possível olhar para ele a olho nu. Atrás das chamas havia algo que parecia poeira. Estava enroscada em pequenas lufadas... e eram deixadas faixas azuis atrás das chamas. Logo que a chama desapareceu, ouviram-se explosões mais altas do que as provocadas por armas, sentimos o solo tremer, e os vidros das janelas se despedaçaram.

... Eu estava lavando a madeira do banco do rio Kan. De repente ouviu-se um barulho como o bater de asas de uma ave assustada... e um tipo de enchente subiu pelo rio. Após isto, houve uma explosão tão grande que um dos trabalhadores ... caiu na água.

Esta ocorrência incrível é chamada de o Evento de Tunguska. Alguns cientistas sugeriram que foi causado por um pedaço de antimatéria movendo-se rapidamente, destruída pelo contato com a matéria comum da Terra, desaparecendo em um lampejo de raios gama. Mas a ausência de radioatividade no local do impacto não sustenta esta explicação. Outros postulam que um miniburaco negro passou pela Terra na Sibéria e saiu do outro lado, mas os registros de ondas de choque atmosféricas não mostram indícios de um objeto explodindo no Atlântico Norte depois deste dia. Talvez tenha sido uma nave espacial de alguma civilização extraterrestre inimaginavelmente avançada com um problema mecânico urgente, despedaçando-se em uma remota região de um planeta obscuro. Mas no local do impacto não há vestígios desta nave. Nenhuma das hipóteses apresenta evidências que a comprovem. O ponto-chave do Evento de Tunguska é que houve uma tremenda explosão, uma grande onda de choque, um enorme incêndio na floresta, embora não haja uma cratera de impacto no local. Parece haver somente uma explicação consistente com todos os fatos: Em 1908 um pedaço de um cometa atingiu a Terra.

Nos espaços entre os planetas há muitos objetos, alguns rochosos, outros metálicos, alguns gelados, outros parcialmente compostos de moléculas orgânicas. Variam de grãos de poeira a blocos irregulares do tamanho da Nicarágua ou de Bhutan. E, algumas vezes, por acidente há um planeta no caminho. O Evento de Tunguska foi provavelmente causado por um fragmento cometário gelado de cerca de cem metros de comprimento— o tamanho de um campo de futebol — pesando um milhão de toneladas, movendo-se em torno de 30 quilômetros por segundo, 70.000 milhas por hora.

Se hoje em dia ocorrer um impacto destes, poderá ser confundido, especialmente no momento do pânico, com uma explosão nuclear. O impacto cometário e a bola de fogo simula-

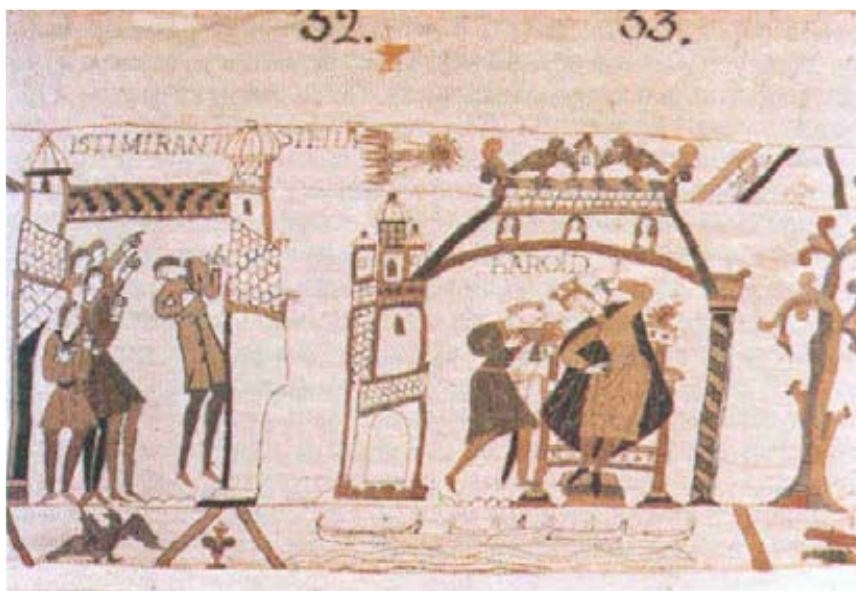


Floresta de taiga devastada em Tunguska. A fotografia foi tirada a 5 km do "ponto zero" e 21 anos após o evento. As árvores todas apontam na direção oposta ao ponto do impacto. Cortesia da Sovfoto.

riam todos os efeitos de uma explosão nuclear de um megaton, incluindo a nuvem em forma de cogumelo, com duas exceções: não haveria radiação gama nem decaimento radioativo. Poderia um evento natural, porém raro, um impacto de um fragmento cometário grande, ser o gatilho de uma guerra nuclear? Um cenário estranho: um pequeno cometa atinge a Terra, como milhões já o fizeram, e a resposta da nossa civilização é prontamente a autodestruição. Talvez seja uma boa idéia sabermos mais sobre cometas, colisões e catástrofes do que o fazemos. Por exemplo, um satélite americano Vela detectou um intenso clarão duplo nas proximidades do Atlântico Sul e no Oceano Índico Ocidental em 22 de setembro de 1979. As primeiras especulações levaram a crer que era um teste clandestino de arma nuclear de baixa potência (dois quilotons, cerca de um sexto de energia da bomba de Hiroshima) da África do Sul ou de Israel. As conseqüências políticas foram seriamente consideradas em todo o mundo. Mas se os clarões foram causados pelo impacto de um pequeno asteróide ou por um pedaço de cometa? Uma vez que as camadas de ar próximas aos clarões não mostraram traços de radioatividade incomum, há uma possibilidade real, o que enfatiza o perigo em uma era de armas nucleares, de que impactos não-monitorizados vindos do espaço sejam mais do que suficientes para nós.

Um cometa é formado principalmente de gelo — gelo de água (H_2O) com um pouco de gelo de metano (CH_4) e de gelo de amônia (NH_3). Chocando-se com a atmosfera da Terra, um fragmento cometário modesto produziria uma grande bola de fogo radiante e uma onda poderosa de vento que queimaria as árvores, arrasaria florestas e seria ouvida em todo o mundo, mas não faria uma cratera muito grande no chão. Os gelos se derreteriam durante a entrada. Haveria poucos pedaços reconhecidos deixados pelo cometa — talvez somente indícios superficiais de pequenos grãos das partes não-geladas do núcleo cometário. Recentemente, o cientista soviético E. Sobotovich identificou um grande número de pequenos diamantes espalhados na área

Detalhe da Tapeçaria de Bayeux, do século XIV, registrando o aparecimento do Cometa de Halley, em abril de 1066. A inscrição latina à esquerda do cometa estilizado diz: "Estes homens maravilharam-se com a estrela". Um cortesão se apressou em registrar o evento para Harold da Inglaterra, cuja derrota por William, o Conquistador foi, de acordo com a crença popular, predita pelo cometa (veja os navios invasores na parte inferior). A tapeçaria foi dirigida e orientada pela Rainha Matilde, esposa de William.





Adoração dos Reis Magos, de Giotto, c. 1304, representando a Estrela de Belém (presumivelmente) como um cometa não miraculoso. A aparição do Cometa de Halley em 1301 serviu, muito apropriadamente, como modelo para Giotto. Cortesia de SCALA/Editorial Photocolor Archives.



Representação asteca da observação de um cometa brilhante pelo Imperador Montezuma, que aceitava a superstição popular que um cometa pressagiava catástrofes, provocando uma depressão sombria e, deste modo, inconscientemente, incentivando a Conquista Espanhola. É um excelente exemplo de profecia realizada. Da *História de las Indias de Nueva España*, de Diogo Duran.

de Tunguska. Estes diamantes já eram conhecidos como existentes em meteoritos que sobreviveram ao impacto e talvez se originem de cometas.

Em uma noite clara, se você observar pacientemente o céu, verá um meteoro solitário brilhando por pouco tempo. Em algumas noites podemos ver uma chuva de meteoros, sempre nos mesmos dias, que são poucos, a cada ano — uma exibição natural de fogos de artifício, uma diversão nos céus. Estes meteoros são formados de pequenos grãos, menores do que uma semente de mostarda. São menos estrelas cadentes do que penugens caindo. Momentaneamente brilhantes quando penetram na atmosfera terrestre, são aquecidos e destruídos pela fricção a uma altura de cerca de 100 quilômetros. Os meteoros



Representação turca do Grande Cometa de 1577. (Compare com a figura abaixo.) A excitação que acompanhava a chegada de um cometa induziu, de modo direto, à fundação do Observatório de Istambul. Cortesia da University of Istanbul Library.



Folha impressa, em Praga, por Peter Codicillus, mostrando o Grande Cometa de 1577 acima da Lua e de Saturno, enquanto um artista o desenha ajudado pela luz de uma lanterna. A certeza de Tycho Brahe de que este cometa estava mais distante do que a Lua levou-o a retirar os cometas do domínio do fenômeno terrestre e a colocá-los corretamente como corpos celestiais. Da coleção Wikiana, Zentralbibliothek, Zurique. Foto de Owen Gingerich.

são remanescentes de cometas.* Cometas antigos, aquecidos por repetidas passagens próximas ao Sol, partem, evaporam e se desintegram. Os debris se espalham para preencher toda a órbita cometária. No local onde esta órbita intercepta a da Terra, há uma multidão de meteoros esperando por nós. Alguma parte da multidão está sempre na mesma posição da órbita da Terra, de modo que a chuva de meteoros é sempre observada no mesmo dia do ano. O dia 30 de junho de 1908 foi o dia da chuva de meteoros Beta Taurid, conectado com a órbita do Cometa Encke. O Evento de Tunguska parece ter sido causado por pedaço deste, um pedaço substancialmente maior do que pequenos fragmentos que causam estas chuvas de brilhantes e inofensivos meteoros.

Os cometas sempre evocaram medo, temor e superstição. Suas aparições ocasionais alteravam perturbadoramente as noções de um Cosmos inalterado e divinamente ordenado. Parecia inconcebível que uma risca espetacular de chama branca como leite, surgindo e desaparecendo entre as estrelas noite após noite, não estivesse lá por alguma razão e nem trouxesse mau agouro para os afazeres do homem. Em consequência surgiu a idéia de que os cometas eram precursores de desastres, áugures da ira divina, que predizia a morte de príncipes e quedas de reinados. Os babilônios pensavam que os cometas eram barbas celestes, os gregos visualizavam cabelos esvoaçando, e os árabes espadas flamejantes. Na época de Ptolomeu os cometas eram elaboradamente classificados de "traves", "trompetes", "jarros", e assim por diante, de acordo com suas formas. Ptolomeu julgou que os cometas trouxessem a guerra, tempo quente e "condições perturbadoras". Algumas descrições medievais de cometas lembravam crucifixos voadores não-identificados. Um superintendente luterano, Bispo de Magdeburg chamado Andreas Colichius, publicou em 1578 uma "Lembrança Teológica de um Novo Cometa", que oferecia a visão inspirada que era formado pela "fumaça grossa dos pecados humanos, elevando-se a cada dia, hora e momento repletos dos horrores diante da face de Deus, e tornando-se gradualmente tão espessa que formava um cometa, com tranças curvas que eram por fim inflamadas pelo calor e cólera ardente do Juiz Celeste Supremo". Mas outros diziam que se os cometas fossem fumaça de pecado, os céus estariam continuamente em chamas.

O registro mais antigo de uma aparição do Cometa de Halley (ou de qualquer outro) é chinês, e surgiu no *Livro do Príncipe Huai Nan*, acompanhante de marcha do Rei Wu contra Zhou de Yin, no ano de 1057 A.C. A aproximação do Cometa de Halley no ano 66 é a explicação provável do relato de Josephus de uma espada sobre Jerusalém por um ano inteiro. Em 1066 os

*O fato de meteoros e meteoritos estarem conectados a cometas foi proposto pela primeira vez por Alexander von Humboldt em sua ampla popularização de tudo sobre ciência, publicado entre os anos de 1845 e 1862, um trabalho chamado *Kosmos*. A leitura do primeiro trabalho de Humboldt despertou no jovem Charles Darwin o desejo de seguir uma carreira combinando exploração geográfica e história natural. Logo depois ele aceitou um posto de naturalista no navio H.M.S. *Beagle*, evento que originou *A Origem das Espécies*.

normandos testemunharam outra aparição do cometa. Uma vez que ele deveria, pensaram, pressagiar a queda de algum rei, o cometa encorajou, de um modo precipitado, a invasão da Inglaterra por William, o Conquistador. O cometa foi devidamente comentado em um periódico da época, a Tapeçaria de Bayeux. Em 1301, Giotto, um dos criadores da moderna pintura realista, testemunhou outra aparição do Cometa de Halley e o inseriu na cena da natividade. O Grande Cometa de 1466 — outra aparição do Cometa de Halley — produziu pânico na Europa cristã. Os cristãos temiam a Deus, que enviava cometas e deveria estar do lado dos turcos, que tinham acabado de conquistar Constantinopla.

Os principais astrônomos dos séculos XVI e XVII eram fascinados pelos cometas, e até Newton sentiu-se um pouco atoradoado com eles. Descreveu-os como atravessando o espaço "como peixes no mar", mas sendo dissipados pela luz solar, pois a cauda cometária sempre aponta na direção oposta ao Sol. David Hume, em muitos casos um racionalista sem vínculos, pelo menos brincou com a noção que os cometas eram células reprodutoras — óvulos ou esperma — dos sistemas planetários, que os planetas eram produzidos por um tipo de sexo interestelar. Como estudante não graduado, antes de ter inventado o telescópio de reflexão, Newton passou muitas noites em claro, procurando cometas no céu a olho nu, perseguindo-os com tal fervor que se sentiu doente de exaustão. Seguindo as idéias de Tycho e Kepler, Newton concluiu que os cometas vistos da Terra não se moviam dentro da nossa atmosfera, como tinham pensado Aristóteles e outros, mas eram bem mais distantes do que a Lua, embora mais próximos do que Saturno. Os cometas brilhavam, assim como os planetas, pelo reflexo da luz solar, "e há equívocos em quem os coloca quase tão longe quanto as estrelas fixas, pois se assim fosse, os cometas não poderiam receber mais luz do Sol do que nossos planetas das estrelas fixas". Mostrou que os cometas, como os planetas, moviam-se em elipses: "Cometas são um tipo de planeta que giram em órbitas muito excêntricas em torno do Sol." Esta desmistificação e previsão de órbitas planetárias regulares levou seu amigo Edmund Halley, em 1707, a calcular que os cometas de 1531, 1607 e 1682 eram aparições com intervalos de 76 anos do mesmo cometa, e previu seu retorno em 1758. O cometa retornou devidamente no tempo e recebeu o seu nome posteriormente. O Cometa de Halley desempenhou um papel interessante na história da humanidade e talvez seja o alvo da primeira sonda espacial em um cometa durante o seu retorno em 1986.

Cientistas modernos especializados em planetas argumentam algumas vezes que uma colisão de um cometa com um planeta pode dar uma contribuição significativa para a atmosfera planetária. Por exemplo, toda a água na atmosfera de Marte hoje poderia ser justificada por um impacto recente de um pequeno cometa. Newton notou que a matéria nas caudas dos cometas é dissipada no espaço interplanetário, perdida pelo cometa e aos poucos atraída gravitacionalmente por planetas próximos. Acreditava que a água na Terra vem sendo gradualmente perdida, "gasta na vegetação e putrefação e convertida em terra seca...



Representação altamente estilizada do Cometa de 1556, sobre uma cidade alemã, provavelmente Nuremberg. Coleção Wikiana. Foto de Owen Gingerich.



Cometa Ikeya-Seki, descoberto em 1965 por dois dedicados astrônomos amadores japoneses. A cauda tem, aproximadamente, cinquenta milhões de quilômetros de comprimento. Fotografado no Observatório Nacional de Kitt Peak, por Michael Belton.

Os fluidos, se não forem supridos por outros meios, deverão estar em um decréscimo contínuo, e quase não existirão no final". Newton parecia acreditar que os oceanos da Terra são de origem cometária, e que a vida é possível somente porque cai matéria cometária sobre o nosso planeta. Em uma meditação mística, ele seguiu ainda mais: "Além disso, eu suspeito que é principalmente dos cometas que provém o espírito, que é, na verdade, a menor parte embora a mais sutil e útil do nosso ar e tão necessário para sustentar a vida de todas as coisas e a nós."

No início de 1868 o astrônomo William Huggins descobriu uma identidade entre alguns aspectos no espectro de um cometa e de um gás natural ou "oleificante". Huggins tinha descoberto matéria orgânica nos cometas; nos anos subseqüentes, o cianogênio, CN, consistindo de um átomo de carbono e nitrogênio, o fragmento molecular que forma os cianidos, foi identificado na cauda dos cometas. Em 1910, quando a Terra estava para atravessar a cauda do Cometa de Halley, muitas pessoas entraram em pânico. Não repararam no fato de que a cauda de um cometa é muitíssimo difusa: o perigo real advindo do tóxico de uma cauda cometária é bem menor que o proveniente, mesmo em 1910, da poluição industrial das grandes cidades.

Mas isto não tranqüilizou ninguém. Por exemplo, os cabeçalhos no *Chronicle* de São Francisco, de 15 de maio de 1910, incluem "Câmera do Cometa tão Grande quanto uma Casa", "Vinda do Cometa Economiza Reformas", "Festas Cometárias são Agora Mania em Nova Iorque". O *Examiner* de Los Angeles adotou uma linha de humor: "Ei! O Cometa Já o Cianogenou?", "A Raça Humana Inteira é Obrigada a um Banho Gasoso", "Aguardem a Bagunça", "Muitos Sentem o Gosto Ruim da Cianogênio", "Vítima Sobe em Árvores, Tenta Telefonar ao Cometa". Em 1910 houve festas, consumando casamentos antes que o mundo terminasse por poluição cianogênica. Empresários vendiam pílulas anticometa, máscaras de gás, estas uma premonição sobrenatural dos campos de batalha da 1.^a Guerra Mundial.

Alguma confusão a respeito dos cometas permanece até hoje. Em 1957, eu era um estudante no Observatório de Yerkes da Universidade de Chicago. Sozinho no Observatório, tarde da noite, ouvi o telefone tocar insistentemente. Quando atendi, uma voz denunciando um estado bem avançado de embriaguez, disse: "Deixe-me falar com o astrônomo". — "Posso ajudá-lo?" — "Bem, estamos em uma festa ao ar livre aqui em Wilmette, e há alguma coisa no céu. O que é engraçado é que se você olhar direto para ela, ela se vai, mas se você não olhar, ela permanece." A parte mais sensível da retina não está no centro do campo de visão. Podemos ver estrelas pálidas e outros objetos desviando ligeiramente os olhos. Eu sabia que estava visível no céu um cometa recentemente descoberto chamado Arend-Roland. Disse à pessoa que ela provavelmente estava vendo um cometa. Houve uma longa pausa, seguida da pergunta: "O que é um cometa?" "Um cometa", eu disse, "é uma bola de neve com uma milha de extensão". Houve outra pausa, após o que escutei: "Deixe-me falar com um astrônomo *de verdade*". Quando o Co-



meta de Halley reaparecer em 1986, pergunto-me quais os líderes políticos que o temerão, quais serão as outras bobagens esperadas como conseqüências.

Apesar dos planetas se moverem em suas órbitas elípticas em torno do Sol, elas não são *muito* elípticas. À primeira vista, são, de modo geral, indistinguíveis de círculos. São os cometas, especialmente os de períodos longos, que apresentam órbitas acentuadamente elípticas. Os planetas são os velhos marcadores do tempo no sistema solar interior, os cometas são os recém-chegados. Por que são as órbitas planetárias quase circulares e primorosamente separadas umas das outras? Porque se os planetas possuísem órbitas muito elípticas, seus caminhos se interceptariam e, mais cedo ou mais tarde, haveria uma colisão. No início da história do sistema solar, havia provavelmente muitos planetas no processo de formação. Aqueles com órbitas cada vez mais elípticas tendiam a colidir e a se destruir, e os com órbitas circulares tendiam a crescer e a sobreviver. As órbitas dos planetas atuais são as órbitas dos sobreviventes desta seleção natural colisional, a idade média estável de um sistema solar dominado por impactos catastróficos iniciais.

Fotografia rara, datada de 1910, do Cometa de Halley com Vênus à esquerda, embaixo. Cortesia de Camara Press-Photo Trends.



Cabeça do Cometa de Halley, maio de 1910. Fotografada no Observatório de Helwan, Egito, por telescópio refletor de 30 polegadas, por H. Knox Shaw.



Cometa Humason, fotografado com um telescópio Schmidt, de 48 polegadas, dos Observatórios Hale, em 1961, e que recebeu o nome do seu descobridor, Milton Humason (Capítulo 10). Pelo tempo de exposição as riscas são estrelas distantes.

No extremo do sistema solar, na escuridão bem além dos planetas, há uma grande nuvem esférica de um milhão de núcleos cometários, orbitando em torno do Sol não mais rapidamente do que um carro de corrida nas 500 milhas de Indianápolis.* Um cometa razoavelmente típico se pareceria com uma gigantesca bola de neve, girando, de cerca de 1 quilômetro de extensão. A maioria nunca penetra no limite da órbita de Plutão, mas ocasionalmente uma estrela que passa faz uma agitação e comoção gravitacionais na nuvem cometária, e um grupo de cometas se acha em órbitas altamente elípticas mergulhando em direção ao Sol. Após seu caminho ter sido alterado por encontros gravitacionais com Júpiter ou Saturno, a tendência é, uma vez a cada século, penetrar no sistema solar interior. Em algum local entre as órbitas de Júpiter e Marte começará a aquecer-se. Matéria enviada para fora da atmosfera do Sol, o vento solar, carrega fragmentos de poeira e gelo para trás do cometa formando uma cauda incipiente. Se Júpiter tivesse 1 metro de extensão, nosso cometa seria menor do que uma partícula de poeira, mas quando inteiramente desenvolvido, sua cauda seria tão grande quanto as distâncias entre os mundos. Quando dentro do campo de visão da Terra, em uma de suas órbitas, estimularia torrentes de fervor supersticioso entre os mortais terrenos. Mas, eventualmente, eles entenderiam que o cometa não vive na sua atmosfera e sim entre os planetas. Calculariam então a sua órbita, e talvez em um dia próximo lançassem um veículo espacial devotado a explorar este visitante da região das estrelas.

Mais cedo ou mais tarde cometas colidirão com planetas. A Terra e seu companheiro Marte deverão ser bombardeados por cometas e pequenos asteróides, os debris deixados acima da formação do sistema solar. Uma vez que há mais objetos pequenos do que grandes, deverá haver mais impactos de pequenos do que de grandes. Um impacto de um pequeno fragmento cometário com a Terra, como em Tunguska, deverá ocorrer uma vez a cada mil anos, mas um impacto com um cometa grande como o de Halley, cujo núcleo tem talvez quilômetros de largura, deverá acontecer somente uma vez a cada bilhão de anos.

Quando um objeto pequeno e gelado colide com um planeta ou com uma lua, talvez não produza marcas, mas se o objeto impactante for grande ou formado principalmente de rocha, ao impacto haverá uma explosão formando um buraco hemisférico chamado cratera de impacto. E se nenhum processo apagar ou preencher a cratera, ela poderá perdurar por

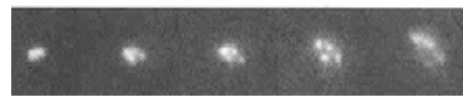
*A Terra é $r = 1$ unidade astronômica = 150.000.000 de quilômetros do Sol. Sua órbita quase circular possui uma circunferência de $2\pi r = 10^9$ km. Nosso planeta circula ao longo deste caminho a cada ano. Um ano = 3×10^7 segundos, de modo que a velocidade orbital da Terra é $10^9 \text{ km} / 3 \times 10^7 \text{ seg} = 30 \text{ km/s}$. Agora consideremos a camada esférica dos cometas em órbita, que muitos astrônomos acreditam circundar o sistema solar a uma distância = 100.000 unidades astronômicas, quase metade do caminho para a estrela mais próxima. De acordo com a terceira lei de Kepler (pág. 63), tem-se de imediato que o período orbital em torno do Sol de qualquer um deles é cerca de $(10^5)^{3/2} = 10^{7,5} = 3 \times 10^7$ ou trinta milhões de anos. Uma volta em torno do Sol é muito tempo, se vivêssemos nas camadas mais exteriores do sistema solar. A órbita cometária é $2\pi a = 2\pi \times 10^5 \times 1,5 \times 10^8 \text{ km} = 10^{14} \text{ km}$, e sua velocidade é, portanto, somente $10^{14} \text{ km} / 10^{15} \text{ seg} = 0,1 \text{ km/seg} = 220 \text{ milhas por hora}$.

bilhões de anos. Não há quase erosão na Lua, e quando examinamos sua superfície descobrimos que ela é coberta de crateras de impacto, muito mais do que as que possam ser justificadas pela população um tanto esparsa de debris cometários e asteróides que preenchem agora o sistema solar interior. A superfície lunar oferece um testemunho eloqüente de uma era anterior de destruição de mundos, há bilhões de anos.

As crateras de impacto não se restringem à Lua. Nós as encontramos em todo o sistema solar interior, de Mercúrio, o mais próximo do Sol, a Vênus coberto de nuvens, Marte e suas pequenas luas Fobos e Deimos. Estes são os planetas terrestres, nossa família de mundos, os planetas mais ou menos semelhantes à Terra. Possuem superfícies sólidas, interiores formados de rocha e ferro, e atmosferas que variam do próximo ao vácuo a pressões noventa vezes mais altas do que a da Terra. Eles se misturam em torno do Sol, fonte de luz e calor, como pessoas acampadas em torno da fogueira. Os planetas têm todos cerca de 4,6 bilhões de anos. Como a Lua, todos servem de testemunho de uma era de catástrofes de impactos no início da história do sistema solar.

Quando nos encaminhamos para além de Marte, penetramos em um regime bem diferente — o domínio de Júpiter e outros planetas gigantes ou jovianos. São mundos grandes, compostos principalmente de hidrogênio e hélio, com pequenas quantidades de gases ricos em hidrogênio como o metano, a amônia e a água. Não vemos superfícies sólidas, somente a atmosfera e nuvens multicoloridas. São planetas de verdade e não pequenos mundos fragmentários, como a Terra. Cabem mil Terras dentro de Júpiter. Se um cometa ou um asteróide cair dentro da atmosfera de Júpiter, não deveremos esperar por uma cratera visível, mas somente por uma interrupção momentânea nas nuvens. Entretanto sabemos que há uma história de muitos bilhões de anos de colisões também no sistema solar exterior, porque Júpiter possui um grande sistema de mais de uma dúzia de luas, cinco das quais foram examinadas de perto pela Voyager. Nelas, mais uma vez encontramos evidências de catástrofes passadas. Quando o sistema solar for todo explorado, provavelmente teremos evidências de catástrofes de impactos em todos os nove mundos, de Mercúrio a Plutão, e em todas as pequenas luas, cometas e asteróides.

Há cerca de 10.000 crateras no lado mais próximo da Lua, visíveis nos telescópios da Terra. A maioria delas nas antigas terras altas lunares, e datam da época do acréscimo final da Lua e dos debris interplanetários. Há cerca de mil crateras acima de um quilômetro de extensão nos *maria* (palavra latina para mares), nas regiões de terras baixas que foram inundadas, talvez por lava, logo após a formação da Lua, cobrindo as crateras preexistentes. Assim, podemos dizer, a grosso modo, que as crateras na Lua são formadas hoje num ritmo de 10^9 anos/ 10^4 crateras = 10^5 anos/cratera, cem mil anos de intervalo entre os eventos formadores. Já que deveria haver mais debris interplanetários alguns bilhões de anos atrás, do que atualmente, teremos que esperar mais de cem mil anos para ver uma cratera se formar na Lua. Como a Terra possui uma área maior, a nossa espera deverá



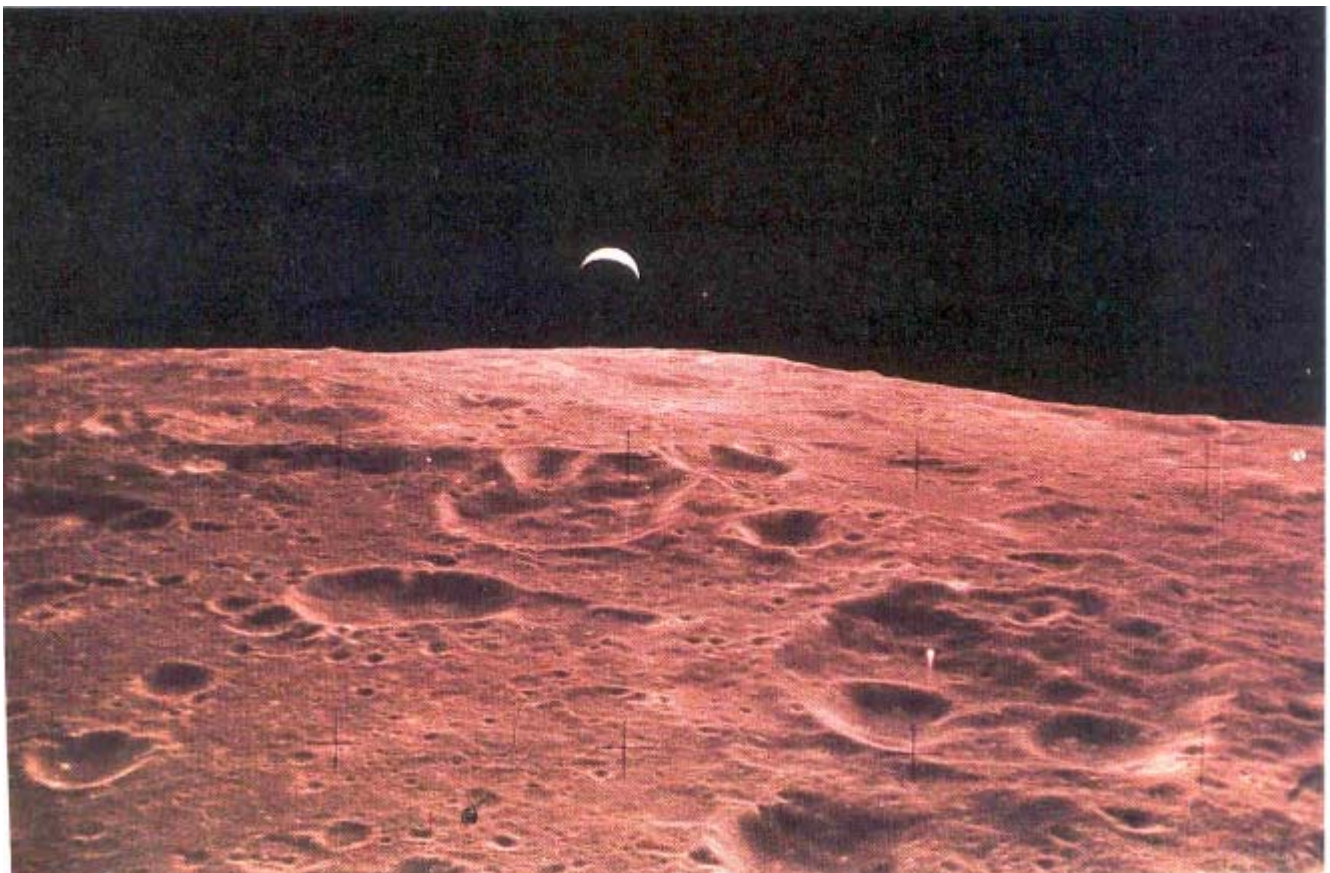
A desagregação do Cometa West (frontispício deste capítulo) em quatro fragmentos. Fotografado por C. F. Kruckles e A. S. Murrell, New Mexico State University Observatory.



Cratera do Meteoro, Arizona. Esta cratera possui 1,2 quilômetros de diâmetro, e foi provavelmente produzida entre 15.000 e 40.000 anos atrás, quando uma massa informe de ferro de 25 metros de largura se chocou contra a Terra a uma velocidade de 15 quilômetros por segundo. A energia liberada foi equivalente a uma explosão nuclear de 4 megatons.



Amanhecer na cratera Copérnico, ligeiramente ao norte do equador lunar. Possui 100 quilômetros de diâmetro. Seu sistema de raios é destacado quando, ao contrário desta fotografia, é iluminada diretamente de cima. Foto Apollo Orbiter. Cortesia da NASA.



Nascer da Terra nas colinas onduladas e em um complexo de cadeias sobrepostas na Lua. Foto Apollo Orbiter.

ser cerca de dez mil anos entre colisões que deverão formar crateras tão grandes como um quilômetro de largura em nosso planeta. E, já que se pensa que a Cratera do Meteoro no Arizona é uma cratera de impacto de um quilômetro, tenha vinte ou trinta mil anos, as observações na Terra estão de acordo com esses cálculos imperfeitos.

O impacto real de um pequeno cometa ou asteróide com a Lua deverá provocar uma explosão momentânea suficientemente brilhante para ser visível da Terra. Podemos imaginar nossos antecessores contemplando-a displicentemente em uma noite, há cem mil anos, e notando uma estranha nuvem surgindo da sua parte não iluminada, repentinamente atingida pelos raios solares. Não esperamos que um evento desses tenha acontecido na antiguidade. As probabilidades são de uma em cem. Contudo, há um relato histórico que talvez descreva um impacto na Lua visto da Terra a olho nu: no entardecer de 25 de junho de 1178, cinco monges ingleses registraram algo extraordinário, que foi posteriormente descrito na crônica de Gervase de Canterbury, geralmente considerado um repórter digno de confiança dos eventos políticos e culturais da sua época, pois havia entrevistado as testemunhas oculares que afirmaram, sob juramento, a veracidade da sua história. A crônica é esta:

Era uma Lua Nova brilhante, e como de costume nesta fase seus cornos estavam inclinados para o leste. De repente o corno superior dividiu-se em dois. No ponto médio da divisão, brotou uma tocha flamejante, lançando fogo, carvões em brasa e faíscas.

Os astrônomos Derral Mulholland e Odile Calame calcularam que um impacto lunar produziria uma nuvem de poeira subindo da superfície com uma aparência correspondente muito semelhante ao registro dos monges de Canterbury.

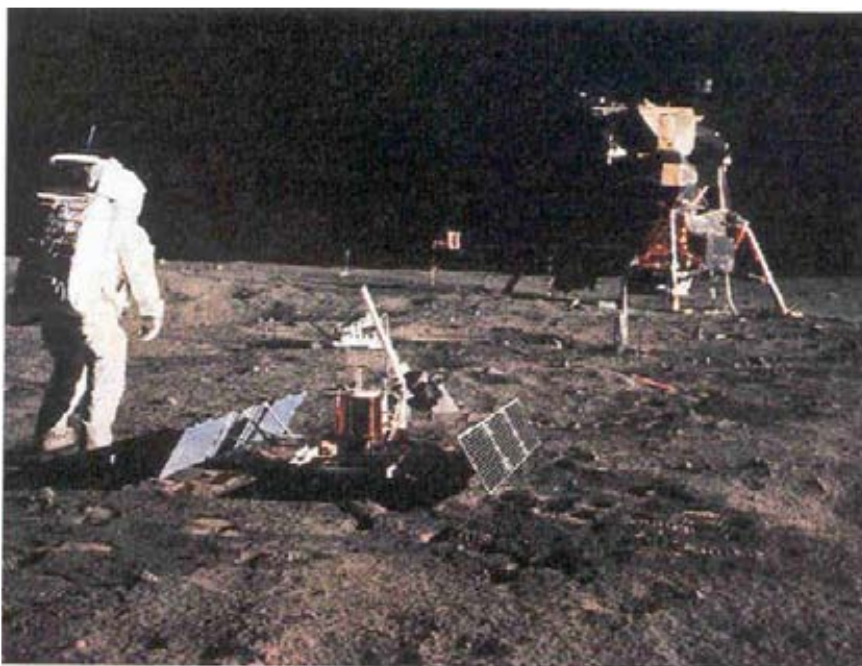
Se houve um impacto destes há somente 800 anos, a cratera ainda deve ser visível. A erosão na Lua é tão ineficiente, pela ausência de ar e água, que mesmo as crateras menores de poucos bilhões de anos são ainda comparativamente bem preservadas. Da descrição registrada por Gervase, é possível apontar com precisão o setor da Lua ao qual se referem as observações. Os impactos produzem raios, rastros lineares de pó fino lançado durante a explosão. Estes raios estão associados a crateras mais recentes da Lua, por exemplo, as que receberam os nomes de Aristarco, Copérnico e Kepler. Enquanto as crateras resistem à erosão, na Lua, os raios, sendo excepcionalmente finos, não. À medida que o tempo passa, a chegada de micrometeoritos— poeira fina do espaço — mexe e cobre os raios, e eles desaparecem gradualmente. Estes raios são uma assinatura de um impacto recente.

O meteoritista Jack Hartung mostrou que uma pequena cratera muito recente, de aparência nova, com um sistema de raios evidente está exatamente na região da Lua referida pelos monges de Canterbury. Foi chamada de Giordano Bruno, nome de um erudito católico romano do século XVI que sustentava a existência de uma infinidade de mundos e muitos deles habitados. Por este e outros crimes, foi queimado na fogueira no ano de 1600.



A cratera raiada de Bruno (ao alto) na Lua. Foto Apollo Orbiter. Cortesia da NASA.

Os astronautas da Apoio 16 montam um engenho retro-refletor de laser na Lua. Cortesia da NASA.



Raio laser direcionado para os retro-refletores embasados na superfície lunar. O telescópio é o refletor de 82 polegadas do Observatório McDonald, Universidade do Texas.

Outra evidência consistente desta interpretação foi preparada por Calame e Mulholland. Quando um objeto se choca com a Lua em alta velocidade, ele lhe impõe uma ligeira oscilação. As vibrações cessam, mas não antes de Oitocentos anos. Estes estremecimentos podem ser estudados por técnicas de reflexão de laser. Os astronautas da Apoio colocaram, em vários locais da Lua, espelhos especiais chamados retrorefletores de laser. Quando um raio laser da Terra atinge o espelho, o tempo da viagem de ida e volta pode ser medido com alta precisão. O tempo multiplicado pela velocidade da luz nos dá a distância da Lua naquele momento com uma precisão igualmente admirável. Estas medidas, tiradas vários anos, revelam estar a Lua librando, ou estremecendo com um período (cerca de três anos) e amplitude (cerca de três metros) consistentes com a idéia de que a cratera Giordano Bruno foi formada há menos de mil anos.

Todas estas evidências são corretas e informativas, o curioso, como disse, é um evento destes ocorrer em eras históricas, mas a evidência é o menos sugestivo. Como o Evento de Tunguska e a Cratera do Meteoro nos lembram, nem todas as catástrofes por impacto ocorreram no início da história do sistema solar. O fato de somente poucas das crateras lunares possuírem sistemas de raios extensos também nos lembra que, mesmo na Lua, há alguma erosão.* Notando quais as crateras que se sobrepõem a outras e outros sinais de estratigrafia lunar, podemos reconstruir a seqüência de impactos e inundações através dos quais a produção da cratera Bruno é talvez o exemplo mais recente. Na pág. 89 temos uma tentativa para visualizar os eventos que formaram a superfície do hemisfério lunar que vemos da Terra.

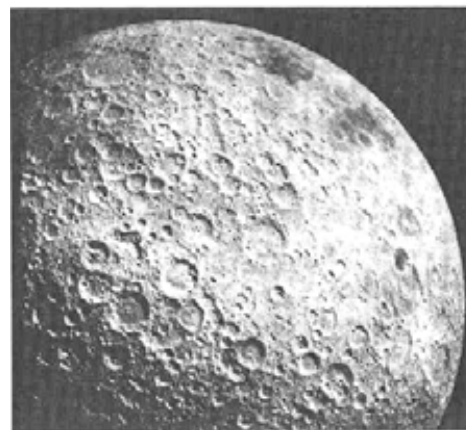
*Em Marte, onde a erosão é muito maior, embora haja muitas crateras, não há virtualmente as do tipo raiada, como esperávamos.

A Terra está muito próxima da Lua. Se esta apresenta-se tão castigada pelas crateras de impacto, como a Terra as evitou? Por que crateras como a do Meteoro são raras? Será que cometas e asteróides têm como imprudente impactar um planeta habitado? Isto é uma indulgência improvável. A única explicação possível é que as crateras de impacto são formadas de modo muito semelhante tanto na Terra como na Lua, mas nesta, sem ar e água, elas são preservadas por períodos imensos de tempo, enquanto que, na Terra, a erosão lenta apaga-as ou enche-as. A água corrente, a areia soprada pelo vento e a construção de uma montanha são processos muito lentos, mas milhões ou bilhões de anos são capazes de apagar lentamente até mesmo as cicatrizes dos grandes impactos.

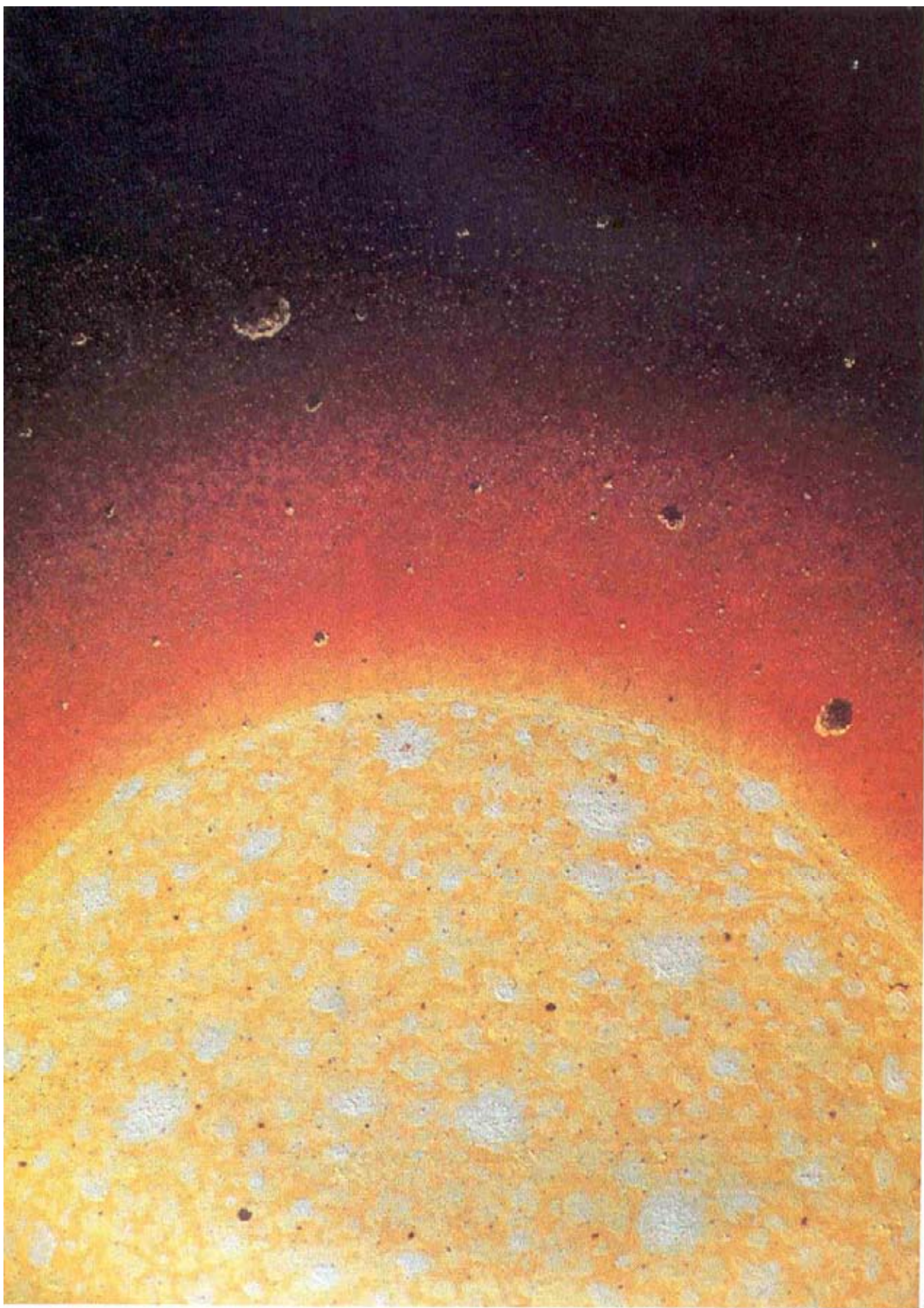
Na superfície de qualquer lua ou planeta, haverá processos externos, como impactos do espaço, e processos internos como terremotos; haverá eventos catastróficos rápidos, como explosões vulcânicas e processos de lentidão cruciantes como a escavação da superfície por pequenos grãos de areia trazidos no ar. Não há uma resposta geral para a pergunta de quais processos são dominantes, os externos ou os internos, os eventos raros mas violentos, ou as ocorrências comuns e imperceptíveis. Na Lua, os eventos externos catastróficos governam; na Terra, os processos internos e lentos dominam. Marte é um caso intermediário.

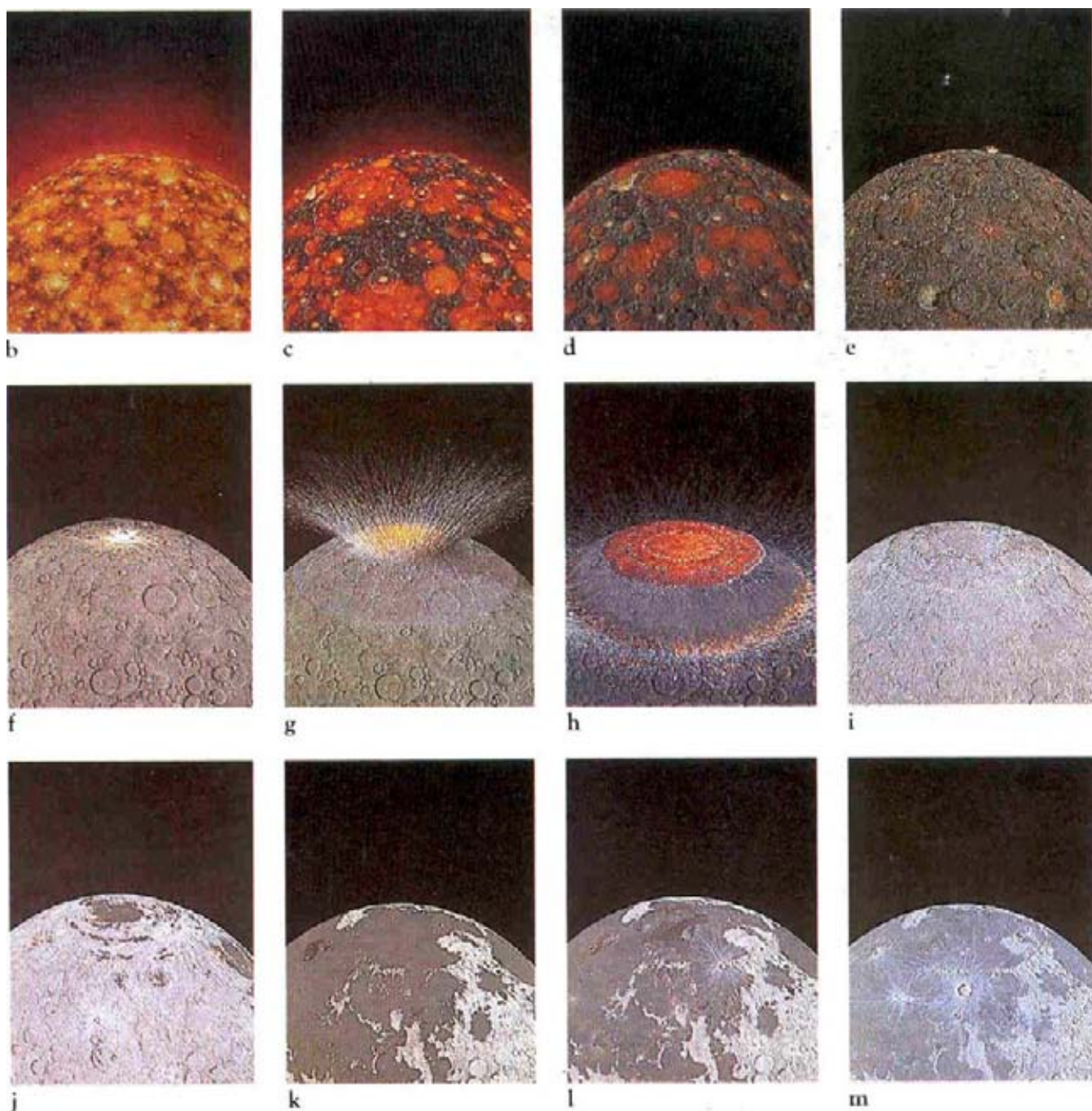
Entre as órbitas de Marte e Júpiter está um incontável número de asteróides, pequeníssimos planetas terrestres. Os maiores possuem poucas centenas de quilômetros. Muitos possuem formas oblongas e estão rolando pelo espaço. Em alguns casos parecem estar dois ou mais asteróides em órbitas mútuas e fechadas. Colisões entre asteróides acontecem com frequência, e ocasionalmente um pedaço é cortado, interceptando acidentalmente a Terra, caindo ao solo como um meteorito. Em exibição em nossos museus, estão fragmentos de mundos distantes. O cinturão de asteróides é um grande moinho de trituração, produzindo pedaços cada vez menores até partículas de poeira. Os maiores pedaços de asteróides, junto com os cometas, são os principais responsáveis pelas crateras recentes em superfícies planetárias. O cinturão de asteróides pode ser um lugar onde não se tenha formado um planeta em consequência das marés gravitacionais do gigante próximo, Júpiter, ou talvez sejam os remanescentes espalhados de um planeta que explodiu, embora isto pareça improvável, porque nenhum cientista na Terra sabe como um planeta pode explodir.

Os anéis de Saturno lembram a aparência de asteróides: trilhões de pequenas luazinhas geladas orbitando o planeta. Podem representar debris que a gravidade de Saturno impediu de se unirem em uma lua próxima, ou podem ser os remanescentes de uma lua que vagou muito próximo e foi despedaçada pelas marés gravitacionais. Ou talvez sejam o estado estável de equilíbrio entre o material ejetado de uma lua de Saturno, como Titã, e o que é atraído para a atmosfera do planeta. Júpiter e Urano também possuem sistemas anelares, descobertos somente em tempos recentes e quase que invisíveis da Terra. Se Netuno possui um anel é um problema que consta da agenda



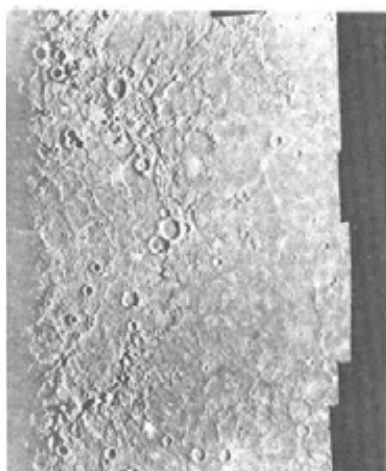
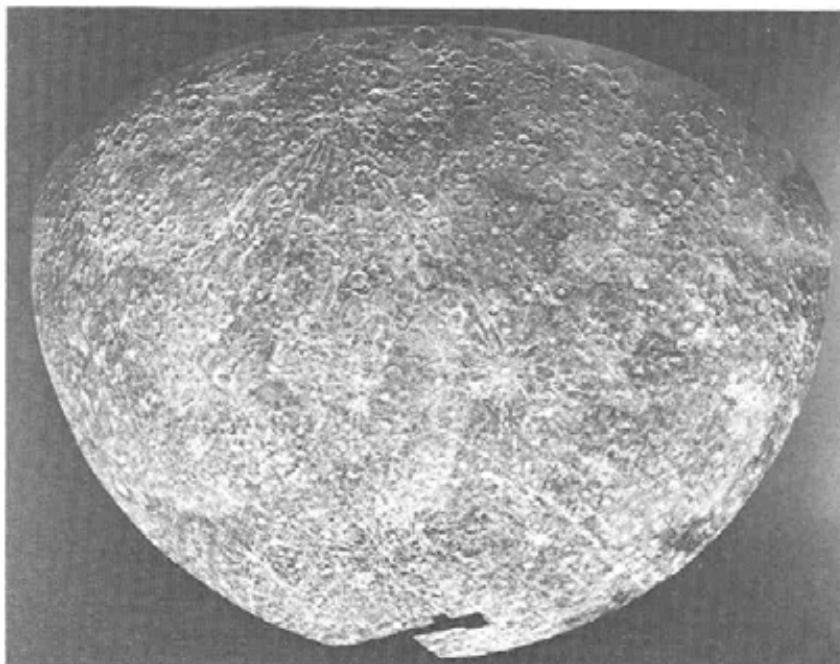
Face oculta da Lua com muitas crateras. Até o advento dos veículos espaciais, esta visão era inteiramente desconhecida dos habitantes da Terra. Foi primeiro observada pelos veículos lunares da União Soviética. As marés gravitacionais do nosso planeta forçam a Lua a completar uma rotação a cada mês, resultando em um hemisfério permanentemente voltado para a Terra e o outro permanentemente oculto. As manchas escuras na parte superior direita são os pequenos mares. São mais destacadas no hemisfério voltado para a Terra e produzem o "Homem na Lua". Foto Apollo Orbiter. Cortesia da NASA.





Formação da Lua (a-d): Estágios finais de acréscimo, há cerca de 4,6 a 5 bilhões de anos. A energia liberada pelo impacto da última geração dos debris cadentes a colidir com a Lua derreteu a sua superfície. Como a maior parte dos debris próximos foi removida da Lua, sua superfície gradualmente se congelou (2-i): Impacto de um asteróide há 3,9 bilhões de anos, formando uma cavidade, pulverizando matéria, gerando uma onda de choque expansiva acompanhada de um outro aquecimento da superfície. A bacia resultante (i) se torna inundada (j-k), provavelmente por rochas basálticas derretidas, talvez há 2,7 bilhões de anos. A bacia escura destacada é agora chamada Mare Imbrium, facilmente visível da Terra a olho nu. Impactos mais recentes produziram as crateras raiadas de Eratóstenes (l) e Copérnico (m). A lenta erosão da Lua reduziu o contraste entre o Mare Imbrium e as suas circunvizinhanças. Criação de Don Davis, com recomendação de U.S. Geological Survey, Branch of Astrogeology.

Hemisfério Sul do planeta Mercúrio. Crateras sobrepostas e outras raiadas mais destacadas são bem evidentes nesta imagem da Mariner 10. As superfícies de Mercúrio e da Lua são tão semelhantes porque ambas estão sujeitas a grandes explosões por impacto há bilhões de anos e, desde então, experimentaram pouca erosão de superfície. Esta é uma fotomosaico. Os cortes em preto embaixo são regiões nunca fotografadas. Cortesia da NASA.



As regiões distantes, vistas à esquerda como fendas e estrias concêntricas da grande Bacia Caloris, na superfície gretada de Mercúrio. Fotomosaico Mariner 10. Cortesia da NASA.

dos cientistas dedicados ao estudo dos planetas. Os anéis podem ser um adorno típico dos planetas do tipo joviano no Cosmos.

As principais colisões recentes de Saturno a Vênus foram relacionadas em um livro popular chamado *Mundos em Colisão*, publicado em 1950 pelo psiquiatra Immanuel Velikovsky. Propôs que um objeto de massa planetária, ao qual chamou de cometa, foi de alguma forma gerado no sistema de Júpiter. Há cerca de 3.500 anos, foi trazido para dentro do sistema solar interior, ocorrendo repetidos encontros com a Terra e Marte, e, como consequências incidentais, a separação do Mar Vermelho, permitindo a Moisés e ao povo judeu escapar do faraó, e parando o movimento de rotação da Terra ao comando de Josué. Também provocou, disse, grandes erupções vulcânicas e inundações*. Velikovsky imaginou que o cometa, após um complicado jogo de bilhar interplanetário, entrou em uma órbita estável e quase circular, tornando-se o planeta Vênus, que sustentou não existir antes.

Como já ponderei, estas idéias são quase certamente erradas. Os astrônomos não objetam a idéia de grandes colisões; somente a de grandes colisões *recentes*. Em qualquer modelo do sistema solar é impossível mostrarem-se os tamanhos dos planetas na mesma escala de suas órbitas, porque senão eles seriam muito pequenos para serem vistos. Se fossem realmente mostrados em escala, como grãos de poeira, notaríamos com facilidade que a chance de colisão de um determinado cometa com a Terra em alguns milhares de anos é extraordinariamente pequena. Além disso, Vênus é um planeta pobre em hidrogênio, rochoso e metálico, enquanto Júpiter — de onde Deli-

*Até onde sei, a primeira tentativa essencialmente não-mística para explicar um evento histórico por intervenção cometária foi a proposta de Edmund Halley de que a inundação do Noachic foi o "choque casual de um Cometa".

kovsky supôs que se originasse — é formado quase que inteiramente de hidrogênio. Não há fontes de energia para cometas ou planetas serem ejetados de Júpiter. Se algum passar pela Terra, não poderá "parar" a sua rotação e muito menos iniciá-la outra vez a vinte e quatro horas por dia. Nenhuma evidência geológica suporta a idéia de uma freqüência incomum de erupções vulcânicas ou inundações há 3.500 anos. Há inscrições mesopotâmicas referentes a Vênus precedentes ao tempo em que Velikovsky disse que Vênus mudou de cometa para planeta.* É muito improvável que um objeto com uma órbita altamente elíptica possa ser rapidamente movido para outra quase que perfeitamente circular como a de Vênus hoje. E assim por diante.

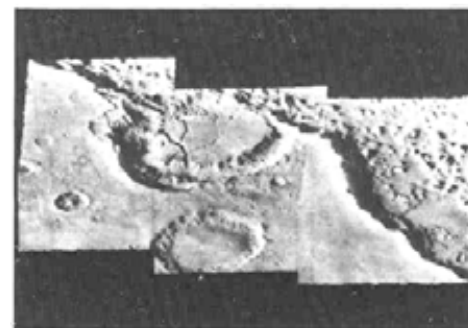
Muitas hipóteses propostas por cientistas bem como por não-cientistas demonstraram ser erradas, mas a ciência é um empreendimento autocorretivo. Para serem aceitas, todas as idéias novas devem suplantar padrões rigorosos de evidência. O pior aspecto do trabalho de Velikovsky não é a sua hipótese estar errada ou em contradição a fatos firmemente estabelecidos, mas de alguns que se intitulam cientistas tentarem omiti-la. A ciência é gerada por e devotada a uma livre inquisição: qualquer hipótese, não importa quão estranha ela seja, merece ser considerada em seu mérito. A supressão de idéias incômodas pode ser comum em religião e política, mas não na trilha do conhecimento; não tem abrigo no empenho da ciência. Não sabemos quem, na senda, descobrirá novos aspectos fundamentais.

Vênus tem quase a mesma massa,** tamanho e densidade que a Terra. Como planeta mais próximo, tem sido por séculos visto como a irmã da Terra. Como será realmente a nossa irmã? Será perfumada, quente, um pouco mais cálida do que a Terra por estar um pouco mais próxima do Sol? Terá crateras de impacto, ou todas já terão sofrido erosão? Haverá vulcões? Montanhas? Oceanos? Vida?

A primeira pessoa a olhar para Vênus através do telescópio foi Galileo em 1609. Viu um disco sem feições características. Galileo notou que atravessava fases, como a Lua, de um tênue crescente a um disco cheio, e pela mesma razão: algumas vezes estamos olhando principalmente para o lado noturno de Vênus, e outras para o lado diurno, uma descoberta que reforçou, incidentalmente, a idéia de que a Terra gira em torno do Sol e não vice-versa. À medida que o telescópio óptico se aperfeiçoou e sua resolução (ou capacidade para determinar os menores detalhes) aumentou, eles se voltaram sistematicamente para Vênus. Mas não fizeram melhor do que Galileo. Vênus era evidentemente coberta por uma densa camada de nuvens que a obscurecia. Quando olhamos para o planeta pela manhã ou ao entardecer, vemos a luz solar refletida nas suas nuvens. Por



Cratera Yuty, a 22°N, 34°O em Marte. Circundando-a, há várias camadas de material de superfície ejetado no impacto que produziu a cratera. A forma esparramada sugere que o material escavado foi derramado sobre algum lubrificante, provavelmente gelo, sob a superfície dissolvida pelo impacto. Uma pequena cratera mais recente logo abaixo da Yuty não foi soterrada pelos despejos, indicando que a camada é fina. Foto Mariner 9. Cortesia da NASA.



Uma cratera na escarpa norte da Fenda Capri, Marte. O aumento lento do vale começou a partir e a desgastar a cratera. Fotomosaico do Mariner 9. Cortesia da NASA.

*O selo cilíndrico de Adda, datando da metade do terceiro milênio a.C., mostra claramente Inanna, a deusa de Vênus, a estrela matutina, e precursora do Ishtar babilônico.

**É, por acaso, cerca de 30 milhões de vezes mais massivo do que o cometa mais massivo conhecido.



Manchas escuras variáveis dentro e próximo das crateras em Memnonia, em Marte. Areia e poeira brilhante e movediças cobrem e descobrem material escuro subjacente. Partículas finas levadas pelo vento também cobrem e desgastam as crateras e outras formações geológicas. Foto Mariner 9. Cortesia da NASA.



Material escuro, possivelmente vulcânico, levado para fora da cratera em Mesogaea, em Marte. Foto Mariner 9. Cortesia da NASA.

séculos após a sua descoberta, a composição destas nuvens permaneceu inteiramente desconhecida.

A ausência de algo visível em Vênus levou alguns cientistas à curiosa conclusão de que a sua superfície era um pântano, como a Terra no Período Carbonífero. O argumento — se pudermos usar esta palavra — foi mais ou menos este:

- Não posso ver nada em Vênus.
- Por que não?
- Porque é totalmente coberto de nuvens.
- De que são formadas?
- De água, naturalmente.
- Então por que as nuvens de Vênus são mais espessas do que as da Terra?
- Porque há mais água lá.
- Mas, se há mais água nas nuvens, deve haver mais água na superfície. Em que tipo de superfície há muita água?
- Nos pântanos.

E se há pântanos, por que não ciacádeas, libélulas e talvez até dinossauros em Vênus? Observação: não há absolutamente nada visível em Vênus. Conclusão: deve ser coberto de vida. As nuvens amorfas refletem nossas próprias predisposições. Estamos vivos e admitimos a idéia da vida em outros locais. Mas somente o acúmulo e coleta cuidadosos de evidências podem-nos dizer se um determinado mundo é habitado. Vênus não força nossas predisposições.

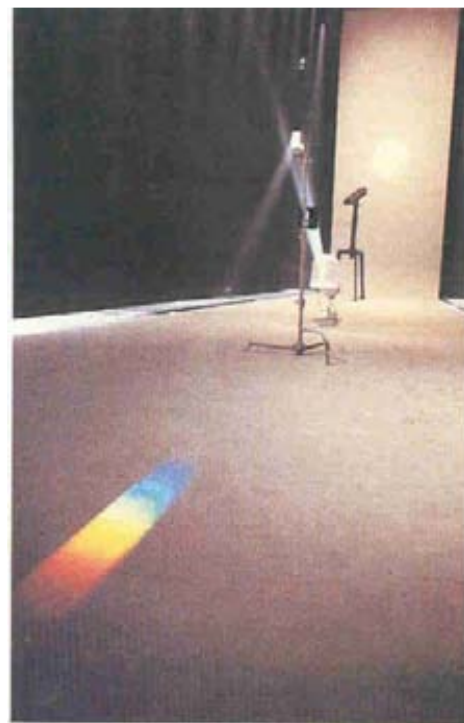
A primeira indicação real da natureza de Vênus veio através de um trabalho com um prisma feito de vidro, ou uma superfície plana, chamada rede de difração coberta de linhas finas, espaçadas com regularidade. Quando um raio de luz branca ordinária passa através de uma fenda estreita e então por um prisma ou rede, ela se divide em um arco-íris de cores chamado espectro. O espectro abrange das altas frequências* da luz visível até as baixas — violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. Vemos estas cores, por isso ele é chamado de espectro de luz visível. Mas há muito mais luz do que este pequeno segmento de espectro que podemos ver. A frequências mais altas, além do violeta, está uma parte do espectro chamada ultravioleta, um tipo perfeitamente real de luz que mata os micróbios. É invisível a nós, mas prontamente detectável pelo abelhão e por células fotoelétricas. Há muito mais no mundo do que aquilo que podemos ver. Além do ultravioleta está a parte de raios X do espectro e, além dele, os raios gama. A frequências mais baixas, no outro lado do vermelho, está a parte infravermelha do espectro. Foi descoberta colocando-se um termômetro sensível no que é preto, além do vermelho, aos nossos olhos. A temperatura subiu. Havia luz invisível, a nós, incidindo no termômetro. A cobra cascavel e semicondutores dopados detectam a irradiação infravermelha perfeitamente bem. Além do infravermelho está a vasta região espectral das ondas de rádio. Dos raios

*Luz é um movimento ondulatório; sua frequência é o número de frentes de onda que, digamos, atingem um instrumento de detecção, como a retina, em uma dada unidade de tempo, como um segundo. Quanto mais alta a frequência, mais energética a radiação.

gama às ondas de rádio, estão faixas igualmente importantes de luz, todas úteis em astronomia. Mas, pelas limitações de nossos olhos, temos prejuízo — uma parcialidade — com esta pequena faixa de arco-íris a que chamamos de espectro de luz visível.

Em 1844, o filósofo Auguste Comte estava procurando por um exemplo de um tipo de conhecimento que estaria sempre escondido. Escolheu a composição dos planetas e estrelas distantes. Nunca poderíamos visitá-los pessoalmente, ele pensou, e com nenhuma amostra disponível jamais teríamos conhecimento sobre sua composição. Mas somente três anos após a morte de Comte, foi descoberto que o espectro podia ser utilizado para determinar a química dos objetos distantes. Moléculas diferentes e elementos químicos absorvem frequências ou cores diferentes de luz, algumas vezes visíveis e outras vezes em qualquer outra parte no espectro. No espectro da atmosfera planetária, uma única linha preta representa uma imagem da fenda na qual falta luz, a absorção da luz solar durante sua rápida passagem através do ar de um outro mundo. Cada linha destas é formada por um tipo particular de molécula ou átomo. Cada substância tem sua assinatura espectral característica. Os gases em Vênus podem ser identificados da Terra, a 60 milhões de quilômetros. Podemos prever a composição do Sol (no qual o hélio, nome do deus-sol grego Hélio, foi o primeiro encontrado), a das estrelas A, magnéticas, ricas em európio, das galáxias distantes analisadas através da luz coletiva de cem bilhões de estrelas constituintes. A espectroscopia astronômica é quase uma técnica mágica que ainda me surpreende. Auguste Comte escolheu um exemplo particularmente infeliz.

Se Vênus estivesse embebido, seria fácil ver as linhas de vapor d'água no seu espectro. Mas as primeiras pesquisas espectroscópicas feitas no Observatório de Mount Wilson por volta de 1920 não encontraram nenhuma sugestão ou traço de vapor d'água acima das nuvens de Vênus, sugerindo uma superfície árida como um deserto, circundada por nuvens de poeira fina de silicato. Um estudo posterior revelou grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera, dando a entender a alguns cientistas que toda a água no planeta tinha-se combinado



Espectro produzido quando uma luz atravessa uma fenda e depois um prisma de vidro. Se houver um gás que absorva muito a luz visível no seu caminho, a forma do arco-íris será interrompida por uma série de linhas escuras características do gás.

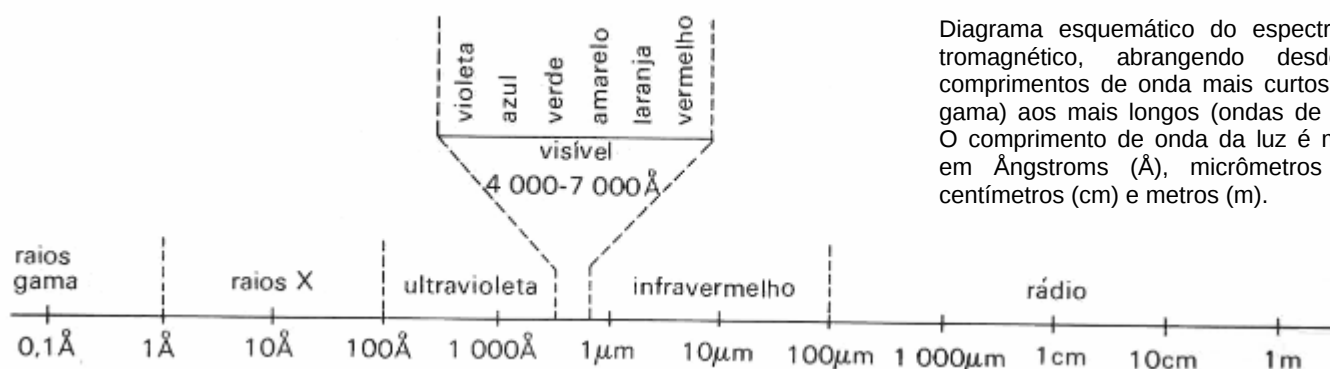


Diagrama esquemático do espectro eletromagnético, abrangendo desde os comprimentos de onda mais curtos (raios gama) aos mais longos (ondas de rádio). O comprimento de onda da luz é medido em Ângstroms (Å), micrômetros (μm), centímetros (cm) e metros (m).



Fobos, a lua mais interna de Marte. Na parte superior aparece a Cratera Stickney. Se o objeto impactante que produziu esta cratera tivesse sido um pouco maior, talvez Fobos tivesse se desintegrado. Foto Viking 1 Orbiter. Cortesia da NASA.



Close-up do sistema de sulcos em Fobos, causado possivelmente pelas marés gravitacionais de Marte. Fobos e sua lua irmã, Deimos, parecem possuir matéria orgânica significativa em suas faces, o que explica a sua coloração escura. Ambos podem ser asteróides capturados. As dimensões desta pequena lua são aproximadamente 27 x 21 x 19 km, com o seu eixo mais longo voltado para o centro de Marte. Foto Viking 1 Orbiter. Cortesia da NASA.

com hidrocarbonetos para formar o dióxido de carbono e que, portanto, a superfície de Vênus seria um campo de óleo global, um mar de petróleo abrangendo todo o planeta. Outros concluíram que não havia vapor d'água acima das nuvens porque estas eram muito frias, que toda a água tinha-se condensado em gotículas que não apresentavam o mesmo padrão das linhas espectrais do vapor d'água. Sugeriram que o planeta era totalmente coberto de água, exceto talvez por uma linha incrustada de calcário, como os rochedos de Dover. Pelas grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera, o mar não poderia ser de água comum, a química-física requer água carbonatada. Propuseram que Vênus era um vasto oceano de água de Seltz.

Os primeiros indícios da situação verdadeira não vieram dos estudos espectroscópicos nas partes do infravermelho próximo do espectro, mas da região do rádio. Um radiotelescópio trabalha mais como um medidor de luz do que como uma câmera. É só apontá-lo para uma vasta região do céu e ele registrará quanta energia, em uma determinada frequência de rádio, está descendo para a Terra. Estamos acostumados a sinais de rádio transmitidos por algumas variedades de vida inteligente, a saber: estações de rádio e televisão. Mas há muitas outras razões para objetos naturais emitirem ondas de rádio. Uma é que são quentes, e quando, em 1956, um dos primeiros radiotelescópios foi voltado para Vênus, descobriu-se que estava transmitindo ondas de rádio como se tivesse uma temperatura extremamente alta. Mas a demonstração principal de que a superfície de Vênus é surpreendentemente quente foi fornecida pela nave espacial soviética da série Venera que penetrou pela primeira vez as nuvens obscuras e desceu na misteriosa e inacessível superfície do planeta mais próximo do nosso. Vênus sofria grande calor. Não havia pântanos, campos de óleo, nem oceanos de água de Seltz. Havendo dados insuficientes, é fácil errar.

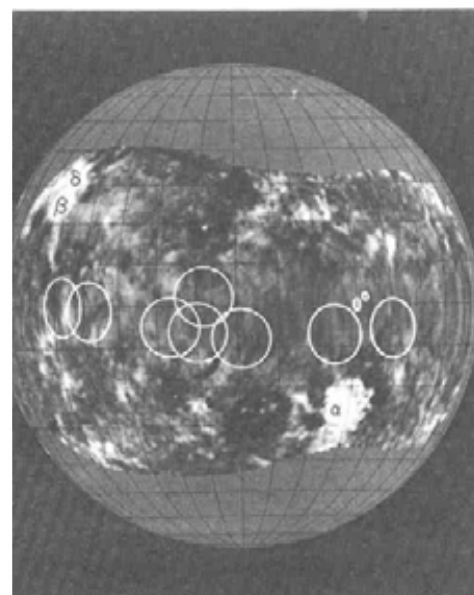
Quando cumprimento um amigo, eu o vejo na luz visível, refletida, gerada pelo Sol ou por, digamos, uma lâmpada incandescente. Os raios de luz saltam do meu amigo para os meus olhos. Mas, os antigos, inclusive Euclides, acreditavam que nós víamos pelo poder dos raios de alguma forma emitidos pelos olhos que contatavam tangível e ativamente o objeto observado. É uma noção natural e ainda pode ser encontrada, embora não justifique a invisibilidade dos objetos em um quarto escuro. Hoje combinamos um laser e uma fotocélula, ou um transmissor de radar e um radiotelescópio, formando deste modo um contato ativo da luz com objetos distantes. Na astronomia de radar, as ondas de rádio são transmitidas por um telescópio na Terra chocando-se, digamos, com o hemisfério de Vênus voltado para nós, e voltando. Em vários comprimentos de onda as nuvens e a atmosfera de Vênus são inteiramente transparentes às ondas de rádio. Alguns locais na superfície as absorvem, ou se são muito ásperos espalham-nas em várias direções e, deste modo, aparecem escuros às ondas de rádio. Mas, seguindo-se os padrões da superfície, à medida que Vênus gira, foi possível pela primeira vez determinar com segurança a duração do dia, o

tempo gasto por Vênus para completar uma volta em torno do seu eixo. Descobriu-se que em relação às estrelas, Vênus girava uma vez a cada 243 dias terrestres, mas de modo retrógrado, na direção oposta a todos os outros planetas no sistema solar interior. Como consequência, o Sol surge no oeste e se põe no leste, levando 118 dias terrestres entre um amanhecer e o outro. Além disso, ele apresenta quase que exatamente a mesma face para a Terra cada vez que está mais próximo de nós. Embora a gravidade da Terra tenha induzido Vênus a atingir sua própria taxa de rotação da Terra, isto não pôde acontecer com rapidez. Vênus não pode ter meramente alguns milhares de anos, pois deve ser tão antigo como todos os outros objetos no sistema solar interior.

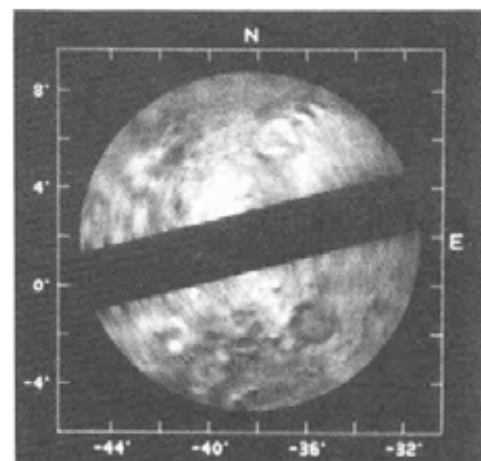
Alguns dos mapas de radar de Vênus foram obtidos pelos radiotelescópios de solo, outros, das Pioneers em órbita em torno do planeta. Todos mostram evidências comprobatórias de crateras de impacto. Há tantas que não são nem maiores e nem menores do que as terras altas lunares, e nos revelam mais uma vez que Vênus é muito antigo. Mas as crateras são acentuadamente superficiais, quase como se as altas temperaturas de superfície tivessem produzido um tipo de rocha que flui durante longos períodos de tempo, como caramelo ou massa de vidraceiro, amolecendo gradualmente as saliências. Há grandes mesas, duas vezes mais altas do que o platô tibetano, um imenso vale fendido, possivelmente vulcões gigantes e uma montanha tão alta quanto o Everest. Vemos agora, diante de nós, um mundo previamente escondido inteiramente pelas nuvens — suas feições foram primeiramente exploradas pelo radar e pelos veículos espaciais.

As temperaturas de superfície de Vênus, deduzidas pela radioastronomia e confirmadas pelas medições diretas feitas pelas naves espaciais são em torno de 480° C ou 900° F, mais quente que qualquer forno doméstico. A pressão correspondente, na superfície, é 90 atmosferas, 90 vezes a pressão que sentimos na atmosfera terrestre, o equivalente ao peso da água, 1 quilômetro abaixo da superfície dos oceanos. Para sobreviver em Vênus, uma nave espacial deve ser refrigerada e também construída como um submersível de grande profundidade.

Cerca de doze veículos espaciais da União Soviética e dos Estados Unidos entraram na densa atmosfera de Vênus e penetraram em suas nuvens, e poucos sobreviveram, realmente, por uma hora, mais ou menos, na superfície*. Duas naves espaciais



Mapa elaborado com auxílio de radar das latitudes equatoriais em Vênus. Regiões brilhantes refletem ondas de rádio de volta no espaço com clareza. Os círculos mostram regiões estudadas com grandes detalhes, uma delas apresentada abaixo. Para um mapa global em detalhe de Vênus, veja a pág. 340. Goldstone Tracking Station, Jet Propulsion Laboratory.



Close-up de uma região equatorial em Vênus, vista da Terra pela radioastronomia. A faixa diagonal é a região de onde não voltou nenhum dado útil. Vêm-se várias crateras, a maior delas com quase 200 quilômetros de diâmetro. As crateras em Vênus são muito superficiais quando comparadas a outras de diâmetros similares em outros mundos, sugerindo um mecanismo de erosão especial. Goldstone Tracking Station, Jet Propulsion Laboratory.

*A Pioneer Vênus foi uma missão bem sucedida dos Estados Unidos em 1978-79, combinando uma nave-mãe e quatro sondas de penetração atmosférica, duas das quais sobreviveram brevemente na inclemência da superfície de Vênus. Há muitos progressos inesperados na nave espacial de pesquisa para explorar os planetas. Entre os instrumentos a bordo da sonda de penetração da Pioneer Vênus estava um radiômetro de fluxo de rede, idealizado para medir simultaneamente a quantidade de energia infravermelha fluindo de cima e de baixo em cada posição na atmosfera do planeta. O instrumento necessitou de uma forte janela que fosse também transparente à radiação infravermelha. Foi importado um diamante de 13,5 quilates e cortado na forma desejada. Contudo, o contratante requereu o pagamento de \$12,000 dólares de taxas de importação. O serviço de alfândega dos Estados Unidos decidiu que após o diamante ser lançado para Vênus seria intransferível na Terra e o dinheiro devolvido ao fabricante.



Calisto, a mais externa das luas gigantes de Júpiter. Cada ponto circular brilhante é uma cratera conseqüente de um grande impacto. Foto Voyager 2 tirada a uma distância de 1.000.000 de quilômetros. Cortesia da NASA.



Região de Ganimedes, a maior lua de Júpiter. Vêm-se crateras raiadas brilhantes e outros sinais de impacto. Io e Europa, os outros dois grandes satélites jovianos, como a Terra, apresentam poucas, se algumas, crateras de impacto; a erosão deve ser mais acentuada neles do que em Ganimedes e Calisto. Foto Voyager 2. Cortesia da NASA.

da série Venera, soviética, tiraram fotos. Vamos seguir os passos destas missões pioneiras e visitar um outro mundo.

À luz visível ordinária, as nuvens amarelo-pálidas de Vênus podem ser distinguidas, mas não apresentam, como viu Galileo, virtualmente nenhuma característica. Se as câmeras vissem em ultravioleta, veríamos um sistema de tempo atmosférico; gracioso e complexo, de redemoinhos na alta atmosfera, onde os ventos giram em cerca de 100 metros por segundo, 220 milhas por hora. A atmosfera de Vênus é composta de 96% de dióxido de carbono. Há pequenos traços de nitrogênio, vapor d'água, argônio, monóxido de carbono e outros gases, mas os únicos hidrocarbonetos ou carboidratos presentes compõem cerca de 0,1 parte por milhão. As nuvens de Vênus são principalmente uma solução concentrada de ácido sulfúrico. Pequenas quantidades de ácido hidrocloreídrico e hidrofluórico estão também presentes. Mesmo em suas nuvens altas e frias Vênus é um local totalmente tempestuoso.

Bem acima da cobertura de nuvens visíveis, a cerca de 70 quilômetros de altitude, há uma neblina contínua de pequenas partículas. A 60 quilômetros, mergulhamos nas nuvens e nos encontramos circundados por gotículas de ácido sulfúrico concentrado. Quanto mais nos aprofundamos, as partículas tendem a ficar maiores. Há vestígios do acre dióxido de enxofre, SO_2 , na atmosfera inferior. Ele circula acima das nuvens e é transformado pela luz ultravioleta do Sol e recombinado com água para formar o ácido sulfúrico que se condensa em gotículas, fixado e, em altitudes inferiores, transformado novamente pelo calor em SO_2 e água, completando o círculo. Sempre chove ácido sulfúrico em Vênus, por todo o planeta, e nenhuma gota atinge a superfície.

A névoa cor de enxofre se estende para baixo por 45 quilômetros acima da superfície de Vênus, onde emergimos em uma atmosfera densa, mas clara como cristal. A pressão atmosférica é tão alta, que não podemos ver a atmosfera. A luz solar é arremessada em todas as direções pelas moléculas atmosféricas até que perdemos todas as imagens da superfície. Não há poeira, nuvens, somente uma atmosfera tornando-se palpável de tão densa. Uma profusão de luz solar é transmitida pelas nuvens subjacentes, tanto quanto um dia nebuloso na Terra.

Com um calor seco, pressões esmagadoras, gases nocivos e tudo espalhando uma incandescência avermelhada e sobrenatural, Vênus parece menos com a deusa do amor do que com uma encarnação do inferno. Até onde podemos compreender, pelo menos alguns locais na superfície são campos juncados de rochas macias irregulares em confusão, um cenário estéril e hostil, suavizado aqui e ali por remanescentes erodados de uma nave espacial abandonada de um planeta distante inteiramente invisível na atmosfera espessa, nublada e venenosa.*

*Nesta paisagem sufocante, não é provável que haja alguma coisa viva, mesmo criaturas bem diferentes de nós. Moléculas biológicas orgânicas e outras concebíveis simplesmente se despedaçariam. Como indulgência, imaginemos que a vida inteligente evoluiu neste planeta. Será que inventariam a ciência? O desenvolvimento dela na Terra foi estimulado fundamentalmente pelas observa-

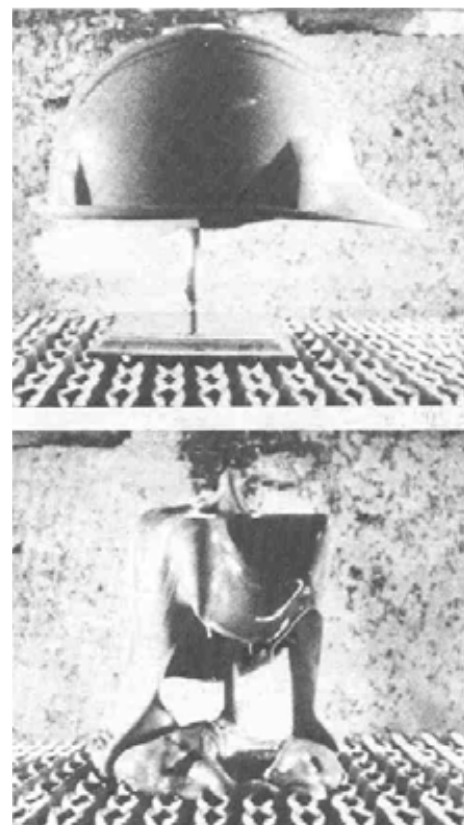
Vênus é um tipo de catástrofe de dimensões planetárias.

Agora parece razoavelmente estabelecido que a alta temperatura de superfície resulta em um maciço efeito de estufa. A luz solar passa através da atmosfera e nuvens de Vênus, que são semitransparentes à luz visível, e atinge a superfície. A superfície sendo aquecida se empenha em radiá-la de volta no espaço.

Por Vênus ser muito mais frio do que o Sol, ele emite mais na região do infravermelho do que na visível do espectro. Contudo, o dióxido de carbono e o vapor d'água* na atmosfera de Vênus são quase que perfeitamente opacos à radiação infravermelha, o calor do Sol é retido com eficiência, e a temperatura da superfície se eleva, até que uma pequena quantidade de radiação infravermelha escorregue para fora desta atmosfera compacta e equilibre a luz solar absorvida na atmosfera inferior e na superfície.

Nosso mundo vizinho é um lugar sombriamente desagradável. Mas voltemos a Vênus. É fascinante a seu modo. Afinal, muitos heróis míticos na mitologia grega e escandinava foram celebrados por visitar o Inferno. Há também muito a ser aprendido sobre o planeta, um Céu relativo, se comparado ao Inferno.

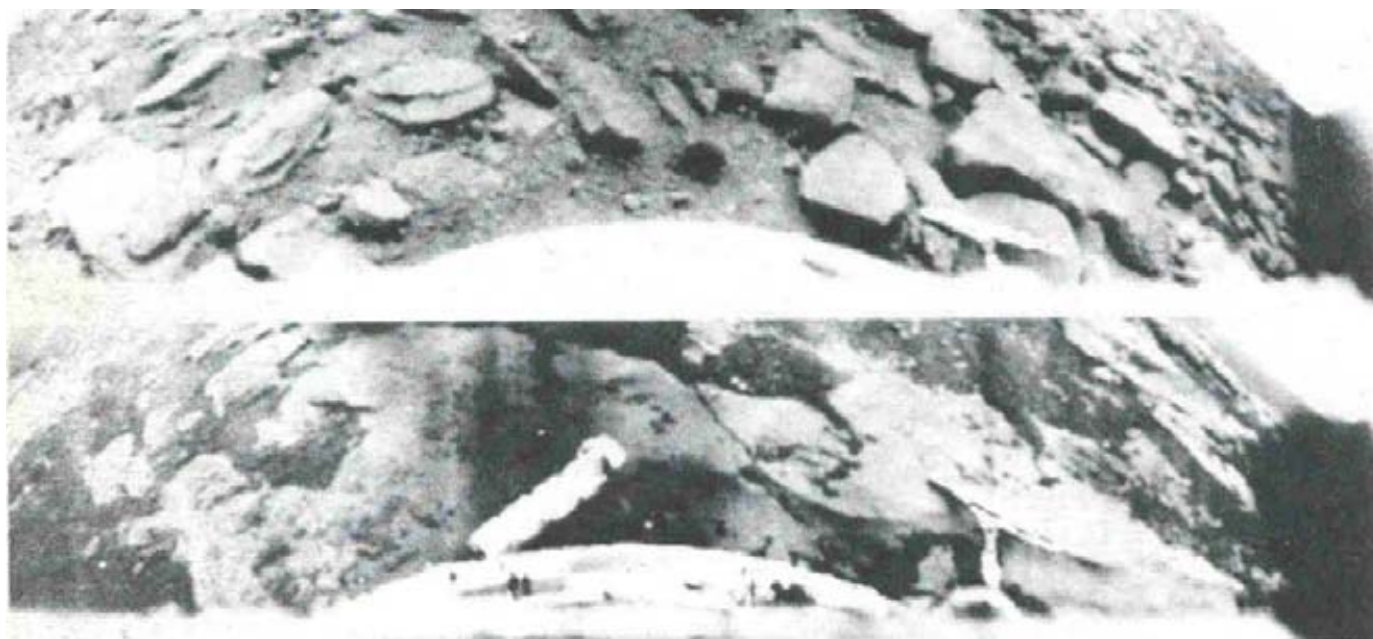
A Esfinge, metade humana, metade leão, foi construída há mais de 5.500 anos. Sua face já foi dura e perfeitamente detalhada. Agora é branda e gasta por milhares de anos de rajadas de



Construção plástica em forma de capacete antes (*acima*) e depois (*abaixo*) de uma pequena exposição às temperaturas de superfície em Vênus. Fotografado no South West Research Institute, San Antonio, Texas.

ções de regularidades dos planetas e estrelas. Mas Vênus é totalmente coberto por nuvens. A noite é agradavelmente longa (cerca de 59 dias da Terra), mas nada do universo astronômico seria visível se olhássemos para o céu noturno de Vênus. Até mesmo o Sol seria invisível durante o dia, sua luz seria dispersada e difundida no céu inteiro, assim como um mergulhador vê somente um brilho uniforme e envolvente no fundo do mar. Se fosse construído um radiotelescópio em Vênus poderia detectar o Sol, a Terra e outros objetos distantes. Se a astrofísica se desenvolvesse, a existência das estrelas poderia eventualmente ser deduzida pelos princípios da física, mas seriam somente construções teóricas. Algumas vezes me pergunto qual seria a reação deles se seres inteligentes em Vênus aprendessem um dia a voar, navegar no ar denso, penetrar na misteriosa cobertura nebulosa de 45 quilômetros, e talvez emergir no topo das nuvens, olhar e pela primeira vez testemunhar o glorioso universo do Sol, planetas e estrelas.

*Até agora ainda há uma pequena incerteza acerca da abundância do vapor d'água em Vênus. O cromatógrafo de gás na sonda de penetração na Pioneer Vênus mostrou uma abundância de água na atmosfera inferior de alguns décimos por cento. Por outro lado, as medições infravermelhas feitas por veículos de penetração soviéticos, Veneras 11 e 12, mostraram uma abundância de um centésimo. Se o primeiro dado for real, então o dióxido de carbono e vapor d'água sozinhos são adequados para confirmar quase toda a radiação de calor da superfície e manter a temperatura do solo de Vênus em cerca de 480°C. Se o segundo dado for o real, e minha esperança é que esta seja a estimativa mais segura, então o dióxido de carbono e o vapor d'água sozinhos são adequados para manter a temperatura da superfície somente em torno de 380°C, e é necessário algum outro constituinte atmosférico para fechar as janelas de frequência infravermelha remanescentes na estufa atmosférica. Contudo, as pequenas quantidades de SO₂, CO e HCl, todos detectados na atmosfera de Vênus, parecem adequados a este propósito. Assim as recentes missões americanas e soviéticas parecem ter verificado que o efeito de estufa é realmente a razão da alta temperatura de superfície.

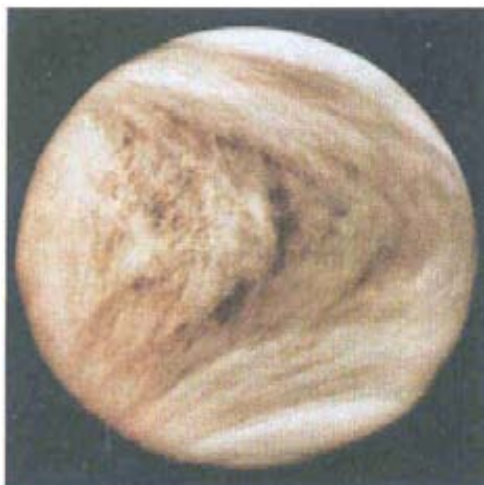


Imagens panorâmicas de Venera 9 e 10, de dois locais diferentes na superfície do planeta Vênus. Em ambas as imagens o horizonte está no canto direito acima. Note a forma erodida das rochas na superfície. Cortesia do Instituto de Pesquisa Cósmica, Academia de Ciências Soviética, Moscou.

areias do deserto egípcio e por chuvas ocasionais. Na cidade de Nova Iorque há um obelisco chamado Agulha de Cleópatra, que veio do Egito. Em somente cerca de cem anos no Central Park da cidade, suas inscrições foram quase totalmente obliteradas pela fumaça e poluição industrial — erosão química semelhante à da atmosfera de Vênus. A erosão na Terra apaga lentamente a informação, mas por serem graduais, o bater dos pingos de chuva, o picar do grão de areia, estes processos podem ser omitidos. As grandes estruturas, como cordilheiras de montanhas, sobrevivem dez milhões de anos, crateras de impacto menores talvez cem mil* e artefatos humanos em grande escala somente alguns milhares. Além desta erosão lenta e uniforme, a destruição também ocorre através das grandes e pequenas catástrofes. A Esfinge perdeu o nariz. Alguém o arrancou em um momento de inútil profanação, talvez os turcos mamelucos ou os soldados de Napoleão.

Em Vênus, na Terra e em outro lugar no sistema solar, há evidências de destruição por catástrofe, moderada ou subjugada por processos mais lentos e mais uniformes. Na Terra, por exemplo, a água da chuva canalizada para regatos, riachos e rios de água corrente, criando imensos reservatórios aluviais; em Marte, os remanescentes de rios antigos, originando-se talvez debaixo do solo; em Io, lua de Júpiter, o que parecem ser largos canais formados por enchentes de enxofre líquido. Há importantes sistemas meteorológicos na Terra, na atmosfera alta de Vênus e em Júpiter. Há tempestades de areia na Terra e em Marte, relâmpagos em Júpiter, Vênus e Terra. Vulcões injetam debris nas atmosferas da Terra e de Io. Processos geológicos internos deformam lentamente as superfícies de Vênus, Marte,

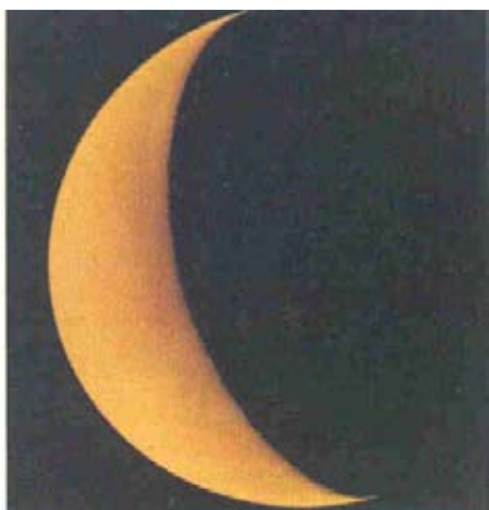
*Mais precisamente, uma cratera de impacto de 10 quilômetros de diâmetro é produzida na Terra uma em cada 500.000 anos; sobrevive à erosão por cerca de 300 milhões de anos em áreas geologicamente estáveis, como a Europa e a América do Norte. As crateras menores são produzidas com mais frequência e destruídas com mais rapidez, especialmente em regiões geologicamente ativas.



Visão de Vênus cheio em luz ultravioleta impressa nos matizes do espectro visível. Os desenhos são devido a nuvens que giram da direita para a esquerda, altas na atmosfera de Vênus. Foto Pioneer Venus Orbiter. Cortesia da NASA.



Dois modelos de reconstrução da superfície de Vênus, a imagem inferior mostrando uma nave espacial Venera, seu equipamento desde então congelado, sofrendo lentamente a erosão no ambiente hostil do nosso planeta irmão.



Vênus em crescente. Vemos somente as nuvens contínuas de solução de ácido sulfúrico. A cor amarela pode ser devida a pequenas quantidades do elemento enxofre. Foto Pioneer Venus Orbiter. Cortesia da NASA.

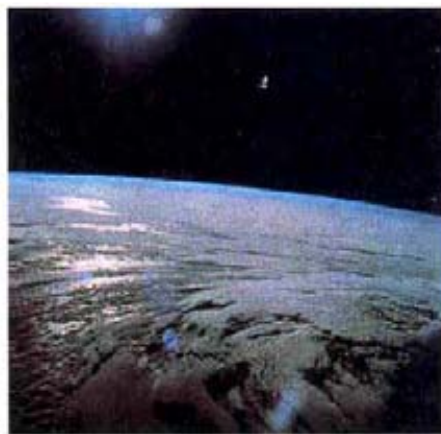
Ganimedes e Europa, bem como a da Terra. As galerias, proverbiais pela sua lentidão, produzem as principais alterações no cenário da Terra e provavelmente também em Marte. Estes processos não necessitam ser constantes no tempo. A maior parte da Europa já foi um dia coberta de gelo. Há alguns milhares de anos, o local da atual cidade de Chicago foi enterrado sob três quilômetros de gelo. Em Marte e em outro local do sistema solar, encontramos características que não podem ter sido produzidas hoje, paisagens talhadas há centenas de bilhões de anos quando o clima do planeta era, provavelmente, bem diferente.



a



b



c



d



e



f



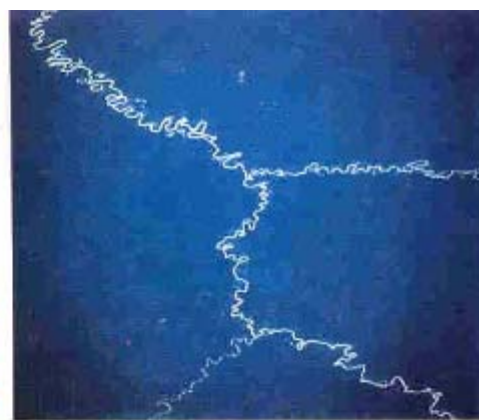
g



h



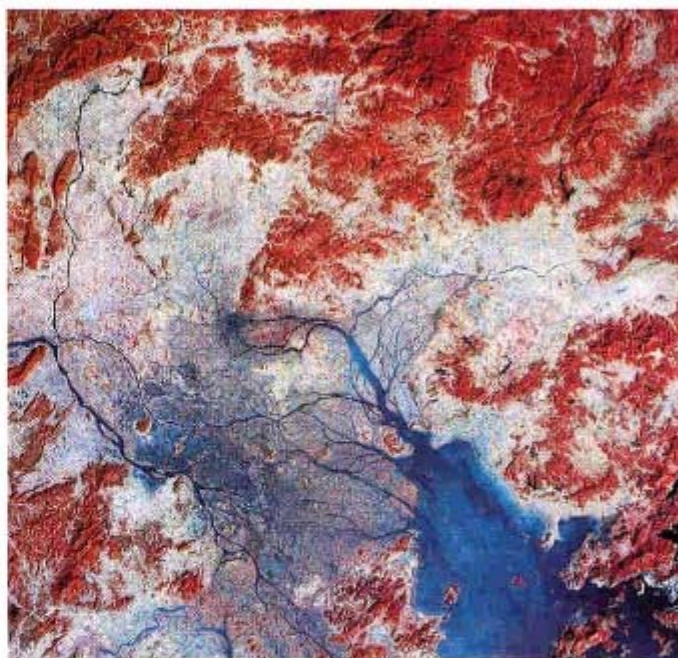
i



j



k



l

Processos naturais alterando o panorama em um pequeno mundo habitável: A Terra observada do espaço, como foi vista pelas naves espaciais Apoio e Landsat, a uma altitude de poucas centenas de quilômetros, (a) O Oriente Próximo, a África, e, visível entre as nuvens, a calota polar antártica. (b e c) Processos de tempestade tropical sobre a Flórida e o Golfo do México: o tempo em um planeta com uma atmosfera modesta. (d) As Montanhas Rochosas parcialmente cobertas de neve, um pouco a oeste de Denver. (e) Uma montanha vulcânica na Terra: o Havaí. (f) Processos de falha geológica no sul da Suazilândia. (g) O delta do rio Nilo. (h) A água congelada é menos densa do que a líquida: gelo compactado no caminho para o mar de St. Lawrence. (i) Geleiras glaciais entre rios Brooks Range do Alasca. (j) Padrões formados pela água em forma líquida, correndo encosta abaixo, delineando a topografia: o Juruá, o Embira e o Tarauca, afluentes do Rio Amazonas. (k) Padrões de uma tempestade de areia: dunas em cordão ao sul da península arábica. (l) O delta do Chu Chiang. Não detectáveis nesta foto estão Cantão (*centro*) e Hong-Kong (*parte inferior, à direita*). (m) A costa caribenha da Venezuela, mostrando o lodo sendo carregado para o mar. Cortesia da NASA.



Há ainda um outro fator que pode alterar a paisagem e o clima da Terra: a vida inteligente, capaz de provocar as principais alterações ambientais. Como Vênus, a Terra possui um efeito de estufa decorrente do dióxido de carbono e do vapor d'água. A temperatura global da Terra poderia estar abaixo do ponto de congelamento da água se não fosse o efeito de estufa. Mantém os oceanos líquidos e a vida possível. Uma pequena estufa é útil. Como Vênus, a Terra também possui cerca de 90 atmosferas de dióxido de carbono, mas concentrado na crosta como calcário e outros carbonatos, não na atmosfera. Se a Terra se aproximasse somente um pouco do Sol, a temperatura subiria ligeiramente. Isto retiraria parte do CO₂ das rochas da superfície gerando um efeito de estufa maior, que, por seu turno, aumentaria ainda mais o calor da superfície. Uma superfície mais quente vaporizaria ainda mais carbonatos para o CO₂ e haveria a possibilidade de um efeito de estufa atingindo temperaturas muito elevadas. É o que supomos ter acontecido no início da história de Vênus, pela sua proximidade do Sol. O ambiente da superfície de Vênus é um aviso: pode acontecer um desastre a um planeta bem semelhante ao nosso.

As principais fontes de energia da nossa civilização industrial atual são os chamados combustíveis fósseis. Queimamos madeira, óleo, carvão e gás natural, e, no processo, liberamos gases, principalmente CO₂, no ar. Conseqüentemente, a proporção do dióxido de carbono na atmosfera da Terra está aumentando drasticamente. A possibilidade de um efeito de estufa descontrolado sugere que devemos tomar cuidado: mesmo uma subida de um ou dois graus na temperatura global pode trazer conseqüências catastróficas. Na queima de carvão, óleo e gasolina, estamos despejando também ácido sulfúrico na atmosfera. Como Vênus, nossa estratosfera agora possui uma névoa de pequenas gotículas de ácido sulfúrico. Nossas principais cidades são poluídas por moléculas nocivas. Não compreendemos os efeitos a longo prazo do nosso curso de ação.

Temos também alterado o clima no sentido oposto. Por centenas de milhares de anos os seres humanos têm queimado e decepado florestas e encorajado os animais domésticos a pastar e destruir a relva. A agricultura que utiliza queimadas, o desmatamento tropical industrial e a destruição das pastagens são desenfreadas hoje em dia. As florestas são mais escuras que as pastagens e estas mais escuras do que os desertos. Como conseqüência, a quantidade de luz solar absorvida pelo solo tem declinado e, pelas mudanças na utilização da Terra, estamos baixando a temperatura da superfície do nosso planeta. Poderá este resfriamento aumentar o tamanho da calota polar que, pelo seu brilho, reflete ainda mais luz solar, esfriando o planeta e levando a um efeito albedo* descontrolado?

Nosso adorável planeta azul, a Terra, é o único lar que conhecemos. Vênus é muito quente; Marte, muito frio. A Terra é a medida certa, o paraíso para os seres humanos. Além do

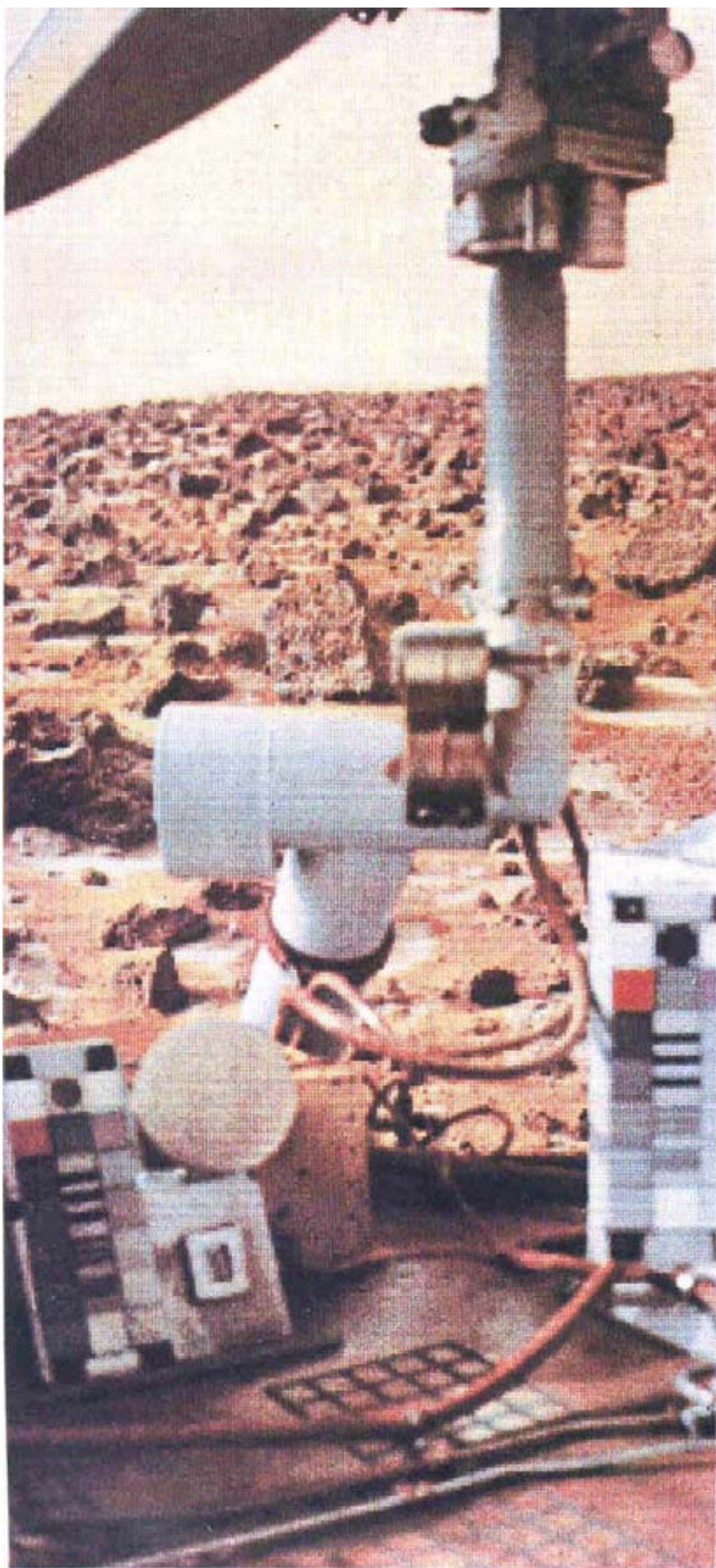
*O albedo é a razão entre a luz solar incidente em um planeta e a refletida de volta ao espaço. O albedo da Terra é de cerca de 30 a 50%. O resto da luz solar é absorvida pelo solo, sendo responsável pela média da temperatura de superfície.

mais, evoluímos aqui. Mas o nosso clima pode ser instável. Estamos perturbando nosso pobre planeta de maneiras sérias e contraditórias. Haverá algum perigo em dirigir o ambiente da Terra para o Inferno planetário de Vênus, ou para a era glacial global de Marte? A resposta é: ninguém sabe. O estudo do clima global, a comparação da Terra com outros mundos são assuntos que se encontram nos estágios iniciais de desenvolvimento. São campos pobres onde impera a má vontade. Em nossa ignorância, continuamos a empurrar e puxar, poluir a atmosfera e a poluir a terra, esquecendo o fato de que as consequências a longo prazo são amplamente desconhecidas.

Há alguns milhões de anos, quando os seres humanos evoluíram na Terra, esta já era um mundo de meia-idade, com 4,6 bilhões de anos de catástrofes e impetuosidades da juventude. Mas nós, humanos, representamos agora um novo e talvez o decisivo fator. Nossa inteligência e tecnologia deram-nos poder de afetar o clima. Como usaremos este poder? Desejaremos tolerar a ignorância e a complacência afetando toda a família humana? Valorizaremos vantagens a curto prazo em vez do bem-estar da Terra? Ou pensaremos em longa escala, considerando filhos e netos, entendendo e protegendo os complexos sistemas de sustentação de vida do nosso planeta? A Terra é um mundo pequeno e frágil. Necessita ser tratada com carinho.



A cabeça da Esfinge, de *Description de L'Egypte*, publicado em 1809. As patas da esfinge estavam, então, enterradas na areia e protegidas da erosão. Escavadas em tempos mais recentes, elas se encontram muito mais preservadas do que a face.



Geadas em Utopia. Uma fina camada de água congelada cobre o solo a 44° de latitude Norte em Marte, em outubro de 1977, no início do inverno boreal. A estrutura vertical suporta uma antena de alta potência para comunicação direta da Viking 2 com a Terra. Quadrados coloridos e tiras escuras são alvos da calibragem para as câmeras. O quadrado escuro com a borda branca, parte inferior à esquerda, é um microponto onde estão escritas — em tamanho pequeno — as assinaturas dos dez mil seres humanos responsáveis pelas operações de desenho, fabricação, teste, lançamento e missão da nave espacial Viking. Os seres humanos estão se tornando, quase que sem o notar, uma espécie multiplanetária. Cortesia da NASA.



Capítulo V

TOADAS PARA UM PLANETA VERMELHO

Nos pomares dos deuses, ele contemplou os canais...

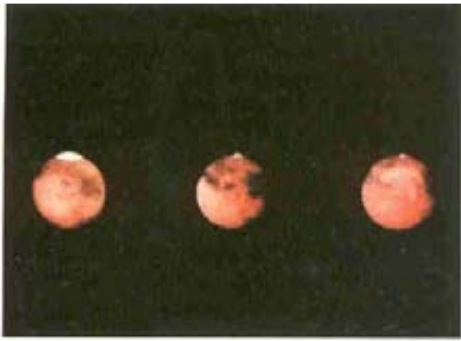
— *Enuma Elish*, Sumer, c. 2500 a.C.

Um homem, descrito no *Opinião*, de Copérnico, sendo esta Terra nossa um Planeta, girando em torno do Sol e iluminado por ele, como o resto dos planetas, não deve, mas algumas vezes fantasia... que o resto dos Planetas possui Vestimentas e Mobiliário e, melhor ainda, Habitantes assim como a Terra nossa... Mas estamos sempre aptos a concluir que foi em vão inquirir-se, a Natureza deleitou-se em agir assim, prevendo nenhuma probabilidade de algum dia atingir-se o fim da Investigação ..., mas há um instante atrás, pensando um tanto seriamente sobre o assunto (não que me considere um homem de visão como os Grandes Homens do passado, mas por ter a felicidade de viver após a maioria deles), concluo que a Investigação não é tão impraticável, nem a maneira de interromper as Dificuldades, mas abre um bom campo para as prováveis Conjecturas.

— Christiaan Huygens, *Novas Conjecturas Concernentes aos Mundos Planetários, Seus Habitantes e Produções*, c. 1690

Tempo virá em que os Homens serão capazes de estender seus Olhos... verão Planetas como a Terra.

— Christopher Wren, *Discurso de Inauguração*, Gresham College, 1657



Três fotografias da mesma face de Marte mostrando a calota polar e marcas claras e escuras, mas não os clássicos canais. À esquerda, no inverno local, a calota está destacada, e o contraste entre as formas iluminadas e escuras persistem. Ao centro, na primavera local, a calota retraiu-se, e o contraste entre as formas brilhantes e escuras é acentuado. Estas alterações sazonais foram atribuídas, por Percival Lowell, à proliferação e declínio da vegetação marciana. À direita, no início do verão, uma grande nuvem de poeira amarelo-esbranquiçada obscurece as formas de superfície, favorecendo a sugestão da resposta ao mistério das alterações sazonais em Marte. Cortesia do New México State University Observatory.

HÁ MUITOS ANOS, assim diz a história, um editor de um jornal famoso enviou um telegrama a um astrônomo conceituado: ENVIE PELO TELÉGRAFO QUINHENTAS PALAVRAS SOBRE SE HÁ VIDA EM MARTE. O astrônomo, respeitosamente, replicou: NINGUÉM SABE, NINGUÉM SABE, NINGUÉM SABE... 250 vezes. A despeito desta confissão de ignorância, sustentada por uma persistência obstinada de um especialista, ninguém a levou em consideração, e desde aquela época até hoje, ouvimos pronunciamentos autorizados de pessoas que pensam ter concluído haver vida em Marte, e de outros que concluíram o contrário. Muitas pessoas gostariam que houvesse vida lá, outras não. Em ambos os lados têm havido excessos. Estas grandes paixões têm desgastado, de alguma forma, a tolerância da ambigüidade que é essencial à ciência. Parece existir muitas pessoas que simplesmente desejam uma resposta, qualquer uma, e, portanto, evitam o fardo de manter em suas cabeças ao mesmo tempo duas possibilidades que se excluem mutuamente. Alguns cientistas acreditaram que Marte era habitado, baseados no que mais tarde foi provado ser uma evidência inconsistente. Outros concluíram que o planeta não tinha vida porque uma pesquisa inicial de uma manifestação particular de vida não tinha sido bem-sucedida, ou ambígua. As toadas tinham sido tocadas mais de uma vez para o planeta vermelho.

Por que marcianos? Por que tantas especulações ansiosas e fantasias ardentes sobre os marcianos, e não, por exemplo, saturnianos ou plutonianos? Porque Marte, à primeira vista, é muito parecido com a Terra. É o planeta mais próximo cuja superfície podemos ver. Há calotas de gelo polares, nuvens brancas flutuando, tempestades de areia furiosas, características que se alteram sazonalmente em sua superfície vermelha e até um dia de vinte e quatro horas. É tentador imaginá-lo como um mundo habitado. Marte tornou-se um tipo de arena mítica sobre a qual projetamos nossas esperanças e receios terrenos, mas nossas predisposições psicológicas prós ou contras não nos devem enganar. O que importa é a evidência, e esta ainda não existe. O Marte real é um mundo de prodígios. Suas promessas futuras são bem mais intrigantes do que nossas apreensões do passado. Atualmente examinamos as areias de Marte, estabelecemos uma presença lá e preenchemos um século de sonhos!

Ninguém nos últimos anos do século XIX teria acreditado que este mundo está sendo observado contínua e profundamente por inteligências maiores do que as do homem, embora mortais; que enquanto os homens se ocupam com os vários interesses, elas estão investigando e estudando talvez quase tão atentamente quanto pode um homem com um microscópio pesquisar as criaturas transitórias que pululam e se multiplicam em uma gota d'água. Com uma complacência infinita os homens trabalharam de um lado ao outro, em seu globo, em seus pequenos problemas, asseguraram-se da certeza de seu domínio sobre a matéria. É possível que os infusórios sobre o microscópio façam o mesmo. Ninguém considerou os mundos do espaço como fontes de perigo humano ou, para somente

acabar com a idéia de vida neles, como impossível ou improvável. É curioso recordar alguns dos hábitos mentais destes dias que já se foram. Quando muito, os homens terrenos imaginaram que haveria outros homens em Marte, talvez inferiores a eles, e prontos a dar boas-vindas a um empreendimento missionário. Embora atravessando o abismo do espaço, mentes que seriam para as nossas, como as nossas o são para as dos animais que perecem, intelectos vastos, frios e antipáticos, consideravam esta Terra com olhos invejosos e traçaram lenta e seguramente seus planos contra nós.

Estas linhas de abertura do clássico de 1897 da ficção científica, de H. G. Wells, *A Guerra dos Mundos*, mantêm seu poder de atração até hoje.* Em toda a nossa história, tem havido medo ou esperança de que haja vida além da Terra. Nos últimos cem anos, esta premonição se centralizou em um ponto vermelho e brilhante de luz no céu noturno. Três anos antes de *A Guerra dos Mundos* ter sido publicada, Percival Lowell, de Boston, fundou o principal observatório onde foram desenvolvidas as pretensões mais elaboradas para defender a vida em Marte. Lowell dedicou-se à astronomia quando jovem, entrou para Harvard, desempenhou uma nomeação diplomática semi-oficial na Coreia, e engajou-se nas buscas comuns da riqueza. Antes de falecer em 1916, forneceu contribuições importantes para o nosso conhecimento da natureza e evolução dos planetas, e dedução do universo em expansão, e de um modo decisivo para a descoberta do planeta Plutão, que recebeu este nome em sua lembrança. As primeiras duas letras do nome Plutão são as iniciais de Percival Lowell. Seu símbolo é *P*, um monograma planetário.

Mas o amor de Lowell foi o planeta Marte. Contagiu-se com a notícia, em 1877, de um astrônomo italiano, Giovanni Schiaparelli, dos *canali* em Marte. Schiaparelli registrara, em uma aproximação de Marte com a Terra, uma intrincada rede de linhas retas simples e duplas riscando áreas brilhantes do planeta. *Canali* em italiano significa *canais*, palavra que implica um projeto inteligente. A martemania tomou conta da Europa e da América, e Lowell descobriu-se arrebatado por ela.

Em 1892, com a visão falhando, Schiaparelli anunciou que estava deixando a observação de Marte. Lowell resolveu continuar o trabalho. Desejou um lugar de observação de primeira classe, não perturbado por nuvens ou luzes citadinas, e marcado por um bom *seeing*, termo astronômico para atmosfera estável através da qual o tremular de uma imagem astronômica, ao telescópio, é minimizado. O *seeing* prejudicado é produzido por uma turbulência em pequena escala na atmosfera acima do telescópio, sendo a razão pela qual as estrelas tremeluzem. Lowell construiu seu observatório bem longe de casa, em Mars

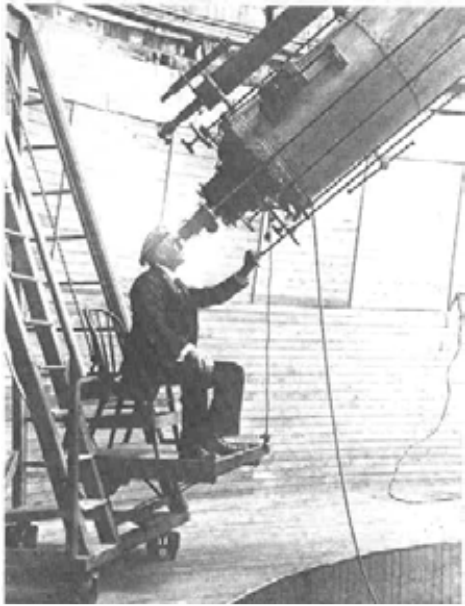


Percival Lowell, aos cinquenta e nove anos, em Flagstaff. Fotografia do Lowell Observatory.



Mapa de Marte, posterior ao de Schiaparelli, por Brown. As linhas retas e curvas são os "canais". Schiaparelli nomeou muitas formas e locais segundo lugares clássicos e míticos, fornecendo uma base para a nomenclatura marciana moderna, incluindo Chryse e Utopia, locais de pouso das Vikings 1 e 2.

*Em 1938, em uma versão para o rádio produzida por Orson Welles, irradiou-se da Inglaterra para o leste dos Estados Unidos uma invasão marciana que amedrontou milhões de pessoas na América de pós-guerra, por acreditarem estarem os marcianos realmente atacando.



Lowell em seu telescópio refrator de 24 polegadas, no seu observatório, em 1900. Fotografia do Lowell Observatory.

Hill, Flagstaff, Arizona.* Desenhou as características da superfície de Marte, particularmente os canais que o magnetizavam. Observações deste tipo não são fáceis. Gastam-se longas horas no telescópio em uma fria madrugada. Muitas vezes a visão é pobre, e a imagem de Marte manchada e deturpada. Então devemos ignorar o que vimos. Ocasionalmente a imagem se forma e as características do planeta se acendem momentaneamente de modo maravilhoso. Devemos então lembrar o que foi concedido e transmiti-lo precisamente para o papel. Devemos colocar de lado nossos preconceitos e, com mente aberta, determinar os prodígios de Marte.

As notas de Percival Lowell são repletas do que ele pensava ver: áreas escuras e brilhantes, uma sugestão de calota polar, e canais, um planeta enfeitado com canais. Lowell acreditou que estava vendo um trabalho, em torno do globo, de grandes valas de irrigação que transportavam água derretida das calotas polares aos habitantes sedentos das cidades equatoriais. Acreditou que o planeta era habitado por uma raça mais antiga e mais sábia, talvez bem diferente de nós, e que as alterações sazonais nas áreas escuras eram devidas ao crescimento e deterioração da vegetação. Acreditou que Marte era muito semelhante à Terra. Resumindo, ele acreditou em muitas coisas.

Lowell invocou um Marte antigo, árido, seco, um mundo deserto. Ainda assim, um deserto semelhante à Terra. O Marte de Lowell possuía muitas características em comum com o Sudoeste americano, onde estava localizado o Observatório Lowell. Imaginou as temperaturas marcianas um pouco frias, mas tão agradáveis como "o sul da Inglaterra". O ar era rarefeito, mas havia oxigênio suficiente para ser respirável. A água era rara, mas a intrincada rede de canais transportava o líquido da vida para todo o planeta.

Os desafios mais sérios e contemporâneos em relação às idéias de Lowell vieram de uma fonte inesperada. Em 1907, pediram a Alfred Russel Wallace, co-descobridor da evolução pela seleção natural, para rever um dos livros de Lowell. Tinha sido engenheiro em sua juventude e, embora pouco crédulo em argumentos como percepção extra-sensorial, era admiravelmente cético quanto à habitabilidade de Marte. Wallace provou que Lowell tinha errado em seus cálculos sobre a temperatura média em Marte; em vez de ser temperado como o Sul da Inglaterra, era, com poucas exceções, abaixo do ponto de congelamento da água. Deveria existir gelo permanente, uma subsuperfície perpetuamente congelada. O ar era muito mais rarefeito do que Lowell tinha calculado. As crateras deveriam ser tão abundantes quanto na Lua. E quanto à água nos canais, escreveu:

Uma tentativa de fazer o pouco excesso [de água], inundando os canais, viajar através do equador para o hemisfério oposto, através de terríveis regiões desérticas e ex-

*Isaac Newton escreveu: "Se a teoria de fabricação de um telescópio puder ser colocada em prática por inteiro, ainda haverá certos limites além dos quais os telescópios não atingirão. Pois o Ar, através do qual olhamos as estrelas, está em perpétuo tremor... O único recurso é o Ar mais sereno e tranqüilo, como talvez o encontrado no topo das montanhas mais altas acima das Nuvens compactas."

postas a um céu sem nuvens como descreve Mr. Lowell, seria o trabalho de um grupo de homens loucos e não de seres inteligentes. Deve-se afirmar, com segurança, que nenhuma gota d'água escaparia pela evaporação ou infiltração mesmo a centenas de milhas de sua fonte.

Esta análise física devastadora e inteiramente correta foi escrita por Wallace aos oitenta e quatro anos. Sua conclusão foi de que a vida em Marte — com isto queria dizer engenheiros civis interessados em hidráulica — era impossível. Não forneceu opinião a respeito de microrganismos.

A despeito da crítica de Wallace e do fato de outros astrônomos com telescópios e locais de observação tão bons quanto os de Lowell não encontrarem nenhum sinal dos canais fabulosos, a visão de Lowell de Marte ganhou aceitação popular. Possuía a qualidade mística tão antiga quanto o Gênesis. Parte do seu apelo era o fato do século XIX ter sido a época das maravilhas da engenharia, incluindo a construção de canais enormes, o de Suez completado em 1869, o de Corinto, em 1893, o do Panamá, em 1914, as eclusas do Grande Lago, os canais de navegação na parte superior do Estado de Nova Iorque e os canais de irrigação no Sudoeste americano. Se europeus e americanos podiam realizar tais feitos, por que não os marcianos? Por que não poderia haver um esforço ainda mais elaborado por espécies mais antigas e sábias, batalhando corajosamente o avanço da seca no planeta vermelho?

Enviamos satélites de reconhecimento para a órbita de Marte. O planeta inteiro foi mapeado. Dois laboratórios automáticos foram deixados em sua superfície. Os mistérios do planeta aprofundaram desde a época de Lowell. Contudo, com fotografias bem mais detalhadas do que qualquer visão de Marte que Lowell pudesse ter vislumbrado um dia, não descobrimos nenhum tributário da rede dos mencionados canais, nenhuma eclusa. Lowell e Schiaparelli e outros, observando sob condições adversas, foram enganados, em parte pela predisposição para acreditar na vida em Marte.

O caderno de observações de Percival Lowell reflete um esforço de muitos anos por trás de um telescópio. Revela que ele estava a par do ceticismo expressado por outros astrônomos sobre a realidade dos canais. Mostra um homem convencido de que tinha realizado uma descoberta importante, e magoado por não ter sido compreendido. Em 21 de janeiro de 1905 houve uma observação no caderno: "Canais duplos apareceram em um clarão, confirmando a realidade." Lendo as anotações, tive uma sensação distinta, porém incômoda, de que ele realmente estava vendo alguma coisa. Mas o quê?

Quando Paul Fox, de Cornell, e eu comparamos os mapas de Lowell com a imagem orbital da Mariner 9, algumas vezes com uma resolução mil vezes superior à do telescópio de refração de vinte e quatro polegadas de Lowell, não encontramos virtualmente nenhuma correlação. Não que os olhos de Lowell tenham arrumado detalhes sutis e desconexos na superfície marciana em linhas retas ilusórias, pois não havia sinais escuros ou cadeias de crateras na



Um dos globos de Marte, mostrando, em destaque, canais que receberam nomes, preparado por Lowell. Cortesia do Powell Observatory.



Desenho de Marte, feito em 1909, por E. M. Antoniadi, na França. A calota polar e a névoa do limbo são aparentes, mas sob excelentes condições de "visibilidade" nenhum canal pôde virtualmente ser distinguido.

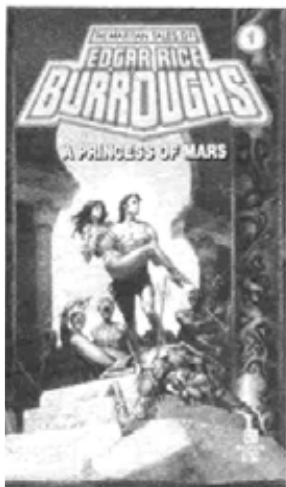


Ilustração atual de Marte nos seriados John Carter, de Edgar Rice Burroughs. Cortesia de Ballantine Books.



Konstantin Eduardovich Tsiolkovsky (1857-1935), pioneiro russo do foguete e do espaço. Professor primário de província, surdo e autodidata, deixou contribuições fundamentais para a astronáutica. Visualizou uma época quando os seres humanos seriam capazes de reconstruir os meios ambientes de outros mundos, e em 1896 escreveu sobre a comunicação com inteligências extraterrestres. Em 1903 descreveu, com detalhes, como um foguete de vários estágios e de combustível líquido poderia transportar seres humanos além da atmosfera da Terra. Cortesia da Sovfoto.

posição da maioria de seus canais — e nem característica alguma. Então, como ele poderia ter traçado os mesmos canais, ano após ano? Como poderiam outros astrônomos, alguns dos quais tinham dito não terem examinado de perto os mapas de Lowell até suas próprias observações, terem traçado os mesmos canais? Uma das grandes descobertas da missão Mariner 9 em Marte foi que existem riscas e manchas na superfície marciana, muitas conectadas com os bordos altos das crateras de impacto, que alteram segundo as estações. São decorrentes de poeira carregada pelo vento, os padrões variando de acordo com os ventos sazonais. Mas as riscas não apresentam características de canais, e nem estão na posição deles, e nenhuma delas é, individualmente, larga o suficiente para serem vistas da Terra em primeiro plano. É improvável que haja características reais em Marte que pareçam ligeiramente com os canais de Lowell, nas primeiras décadas do século, e que tenham desaparecido sem deixar vestígios logo que as investigações, de perto, das espaçonaves tornaram-se possíveis.

Os canais de Marte parecem ser alguma disfunção, sob condições de visibilidade difíceis da combinação mão/olho/cérebro humanos (ou pelo menos para alguns seres humanos; muitos outros astrônomos, observando com aparelhos igualmente bons na época e logo depois de Lowell afirmaram não haver canais). Difícilmente é uma explicação compreensível, e tive uma suspeita incômoda de que algum aspecto essencial do problema dos canais marcianos ainda permanece sem ser descoberto. Lowell sempre disse que a regularidade dos canais era um sinal inconfundível da origem inteligente. Certamente isto é verdadeiro. A única pergunta não respondida é de que lado do telescópio estava a inteligência.

Os marcianos de Lowell eram bons e esperançosos, até um pouco parecidos com deuses, bem diferentes da ameaça malévola colocada por Wells e Welles em *A Guerra dos Mundos*. Ambas as idéias penetraram na imaginação pública através dos suplementos de domingo e da ficção científica. Posso me lembrar, quando criança, lendo fascinado e com a respiração presa os contos sobre Marte de Edgar Rice Burroughs. Viajei com John Carter, o aventureiro romântico da Virgínia, até "Barsoom", como Marte era conhecido pelos seus habitantes. Segui rebanhos de animais de carga com oito pés, os thoats. Pedi a mão da adorável Dejah Thoris, princesa de Helium. Protegi um lutador verde de quatro metros de altura chamado Tars Tarkas. Vaguei em cidades espiraladas e estações bombeadoras abobadadas de Barsoom, e ao longo de baixios verdejantes nos canais de Nilo-syrtis e Nepenthes.

Seria realmente possível, de fato e não por fantasia, aventurarmo-nos com John Carter no Reino de Helium no planeta Marte? Poderíamos sair em uma tarde de verão, nosso caminho iluminado pelas duas luas de Barsoom, para uma grande aventura científica? Mesmo se as conclusões de Lowell sobre Marte, incluindo a existência dos canais fantásticos, resultassem em nada, sua descrição do planeta possui ao menos uma virtude: motivou uma geração dos oito anos, eu inclusive, a considerar a

exploração dos planetas como uma possibilidade real, e a perguntarmos a nós mesmos se poderíamos um dia viajar para Marte. Carter chegou lá ficando em pé em um campo aberto, abrindo seus braços e mãos, e formulando o desejo. Posso me lembrar, gastando horas da minha meninice, os braços resolutamente esticados em um campo, implorando para aquilo que eu acreditava ser Marte, para me transportar. Nunca resultou em alguma coisa. Deve haver algum outro modo.

Como os organismos, as máquinas também evoluem. O foguete começou, como a pólvora que o propulsionou pela primeira vez, na China, onde era utilizado com propósitos cerimoniais e estéticos. Importado para a Europa por volta do século XIV, foi utilizado para a guerra e examinado no final do século XIX como meio de transporte para os planetas, por um professor de escola russo, Konstantin Tsiolkovsky, e aperfeiçoado com seriedade pela primeira vez para vôos de grandes altitudes pelo cientista americano Robert Goddard. O foguete militar alemão V-2 da Segunda Guerra Mundial empregou virtualmente todas as inovações de Goddard e culminou, em 1948, no lançamento de dois estágios da combinação do V-2/WAC Corporal a uma altitude então sem precedente de 400 quilômetros. Nos anos 50, os progressos da engenharia, organizados por Sergei Korolov, na União Soviética, e por Wernher von Braun, nos Estados Unidos, foram consolidados como sistemas de distribuição para armas de destruição de massa, levando aos primeiros satélites artificiais. A marcha do progresso continuou acelerada: vôo orbital tripulado, homens em órbita e depois descendo na Lua, e espaçonaves não tripuladas atravessando o sistema solar. Muitas outras nações já lançaram espaçonaves, incluindo a Inglaterra, França, Canadá, Japão e China, onde foi inventado pela primeira vez o foguete.

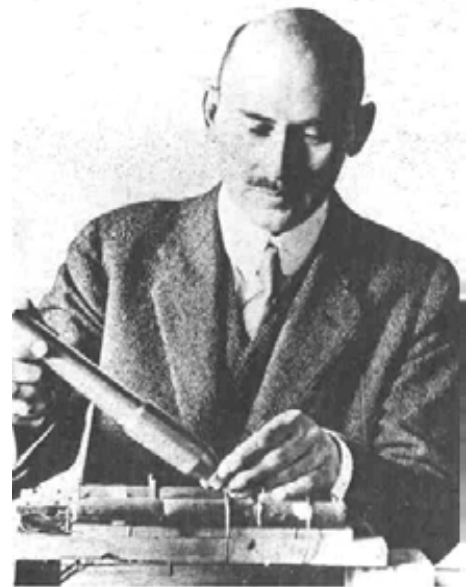
Entre as primeiras aplicações do foguete espacial, como se deliciaram em imaginar Tsiolkovsky e Goddard (que quando jovem tinha lido Wells e foi estimulado pelos escritos de Percival Lowell), estão uma estação científica orbital para observar a Terra a uma grande altitude e uma sonda para a pesquisa da vida em Marte. Ambos os sonhos foram cumpridos.

Imagine-se como um visitante, de um planeta alienígena, tranqüilo aproximando-se da Terra sem preconceções. Sua visão do planeta melhora à medida que se aproxima, e os detalhes se destacam. Será o planeta habitado? A que distância poderá se chegar a essa conclusão? Se existem seres inteligentes, talvez tenham criado estruturas com componentes muito contrastantes em uma escala de alguns quilômetros, estruturas detectáveis quando seu sistema óptico e a distância permitirem uma resolução de quilômetros. Neste nível de detalhe, a Terra parece completamente árida. Não há nenhum sinal de vida, inteligente ou não, em locais que chamamos de Washington, Nova Iorque, Boston, Moscou, Londres, Paris, Berlin, Tóquio e Pequim. Se existem seres inteligentes na Terra, não modificaram muito a paisagem para padrões geométricos regulares a uma resolução de 1 quilômetro.

Mas quando aumentamos dez vezes a resolução, e começamos a ver detalhes com centenas de metros, a situação muda.



Robert Hutchings Goddard (1882-1945) aos 11 anos. Cinco anos mais tarde, a sua imaginação foi despertada pela série *Guerra dos Mundos*, de H. G. Wells. No ano seguinte, antes de qualquer pessoa ter voado em um aeroplano ou escutado um rádio, ele idealizou um invento que viajaria até Marte. Dedicou o resto da sua vida na sua construção. Cortesia da Goddard Library, Clark University.



Goddard aos trinta e três anos de idade, ajustando uma câmara de combustão de aço em um pequeno foguete de combustível sólido em uma plataforma de teste. Cortesia da Goddard Library, Clark University.



Primeiro foguete de produção líquida que nunca viajou. Lançado por Robert Goddard, a 16 de março de 1926, da fazenda de sua tia Effie, em Auburn, Massachusetts, seu voo durou 2 1/2 segundos. Cortesia da Goddard Library, Clark University.

Muitos lugares na Terra parecem cristalizar-se subitamente, revelando um padrão intrincado de quadrados, retângulos, linhas retas e círculos. São, na verdade, obras de engenharia de seres inteligentes: estradas, auto-estradas, canais, terras cultivadas, ruas de cidades, um padrão revelando as duas paixões humanas pela geometria euclidiana e territorialidade. Nesta escala, a vida inteligente pode ser discernida em Boston, Washington e Nova Iorque. A uma resolução de 10 metros, o grau de reconstrução da paisagem pela primeira vez se torna realmente evidente. Os seres humanos têm estado muito ocupados. Estas fotos foram tiradas à luz do dia, mas ao crepúsculo ou durante a noite, outras coisas se tornam visíveis: poços de petróleo na Líbia e no Golfo Pérsico, iluminação em mar alto pelos barcos pesqueiros japoneses, e as luzes brilhantes das grandes cidades. E se à luz do dia aumentarmos a nossa resolução para atingirmos alvos com um metro, começaremos a detectar, pela primeira vez, organismos isolados como baleias, vacas, flamingos e pessoas.

A vida inteligente na Terra se revela primeiro através da regularidade geométrica de suas construções. Se a rede de canais de Lowell existisse realmente, a conclusão de seres inteligentes em Marte seria similarmente obrigatória. Para a vida ser detectada em Marte fotograficamente, mesmo da sua órbita, deveriam igualmente haver grandes reconstruções da superfície. Civilizações técnicas, construções de canais seriam fáceis de detectar, mas exceto por uma ou duas características enigmáticas, nada deste tipo é aparente na profusão estranha de detalhes da superfície marciana descoberta por espaçonaves não tripuladas. Entretanto, existem muitas outras possibilidades que vão de plantas e animais grandes a microrganismos, e de formas extintas até a um planeta que é agora e sempre foi sem vida. Marte está muito mais distante do Sol do que a Terra, por isso suas temperaturas são consideravelmente mais baixas. Seu ar é rarefeito, e formado principalmente de dióxido de carbono, mas também de algum nitrogênio molecular e argônio, e quantidades muito pequenas de vapor d'água, oxigênio e ozônio. Acúmulos livres de água líquida são impossíveis, porque a pressão atmosférica em Marte é muito baixa para manter mesmo a água fria sem ferver. Deve haver uma quantidade diminuta de água líquida nos poros e capilares do solo. A quantidade de oxigênio é muito pouca para um ser humano respirar. A abundância do ozônio é tão pequena que a radiação ultravioleta germicida do Sol atinge sem barreiras a superfície marciana. Poderia algum organismo sobreviver em um ambiente desses?

Para testar esta pergunta, muitos anos atrás, colegas meus e eu preparamos câmaras que simulavam o ambiente marciano como era conhecido, inoculamo-las com microrganismos terrestres e esperamos para ver se algum sobreviveria. Estas câmaras foram, naturalmente, chamadas de Jarros de Marte. Estes passaram por ciclos de temperatura em faixas típicas marcianas de um pouco acima do ponto de congelamento no meio do dia a cerca de -80°C logo após o entardecer, em uma atmosfera anóxica composta principalmente de CO_2 e N_2 . Lâmpadas ultravioletas reproduziram o fluxo solar violento. Não havia água em estado líquido, exceto por filmes

muito delgados umedecendo grãos de areia isolados. Alguns micróbios morreram gelados após a primeira noite e não tivemos mais sinais deles. Outros arfaram e pereceram por falta de oxigênio. Alguns morreram de sede e outros frígidos pela luz ultravioleta. Mas sempre houve algumas variedades de micróbios terrestres que não necessitaram de oxigênio, que encerrados temporariamente saíam quando as temperaturas desciam muito; que se escondiam da luz ultravioleta debaixo dos seixos ou das finas camadas de areia. Em outras experiências, quando havia pequenas quantidades de água líquida, os micróbios realmente cresciam. Se micróbios terrenos conseguem sobreviver no ambiente marciano, como o farão de modo bem melhor os micróbios marcianos, se existirem lá em Marte? Primeiro temos que chegar lá.

A União Soviética mantém um programa ativo de exploração planetária não tripulada. A cada um ou dois anos, as posições relativas dos planetas, e a física de Kepler e Newton permitem o lançamento de uma nave espacial para Vênus ou Marte, com um gasto mínimo de energia. Desde o início dos anos 60, a URSS perdeu poucas oportunidades. A persistência soviética e a perícia da engenharia têm sido primorosamente correspondidas. Cinco espaçonaves soviéticas— Veneras 8 a 12 — pousaram em Vênus, e enviaram com sucesso dados da superfície, proeza significativa em uma atmosfera tão quente, densa e corrosiva. A despeito de muitas tentativas, a União Soviética nunca atingiu Marte com sucesso, lugar, que pelo menos à primeira vista parece muito mais hospitaleiro, com temperaturas amenas, atmosfera muito menos carregada e gases mais benignos, com calotas polares geladas, céus róseos e claros, grandes dunas de areia, leitos de rios antigos, um grande vale fendido, a maior elevação vulcânica conhecida até hoje no sistema solar e perfumadas tardes de verão equatorial. É um mundo bem mais semelhante à Terra do que Vênus.

Em 1971, a espaçonave soviética Marte 3 penetrou na atmosfera marciana. De acordo com a informação enviada automaticamente pelo rádio, os sistemas de pouso funcionaram com sucesso durante a entrada, orientaram com correção sua cobertura protetora inferior, o pára-quedas desdobrou-se apropriadamente e os retrofoguetes foram ligados próximo ao término da descida. Segundo os dados enviados da Marte 3, tinha pousado com sucesso no planeta vermelho. Após isto, a espaçonave enviou um fragmento de vinte segundos de uma imagem de televisão sem formas para a terra e então, misteriosamente, omitiu-se. Em 1973 uma seqüência similar de eventos ocorreu com a Marte 6, a falha acontecendo um segundo após a chegada. O que houve de errado?

A primeira ilustração que eu vi da Marte 3 foi em um selo postal soviético (denominação, 16 copeques) que representava a espaçonave descendo em um tipo de entulho púrpura. O artista estava tentando, penso eu, ilustrar a poeira e os ventos fortes: a Marte 3 tinha penetrado na atmosfera marciana durante uma enorme e global tempestade de areia. Temos evidências da missão U.S. Mariner 9 de ventos próximos à superfície de mais de 140 metros por segundo. Tanto nossos colegas soviéticos como nós,



Um foguete bem mais recente de combustível líquido de múltiplos estágios, descendente linear dos esforços iniciais de Goddard. A Apoio 11, comandada por Neil Armstrong, partiu em 16 de julho de 1969 do Cabo Canaveral, Flórida, em um vôo de três dias em direção à Lua. Cortesia da NASA.



a



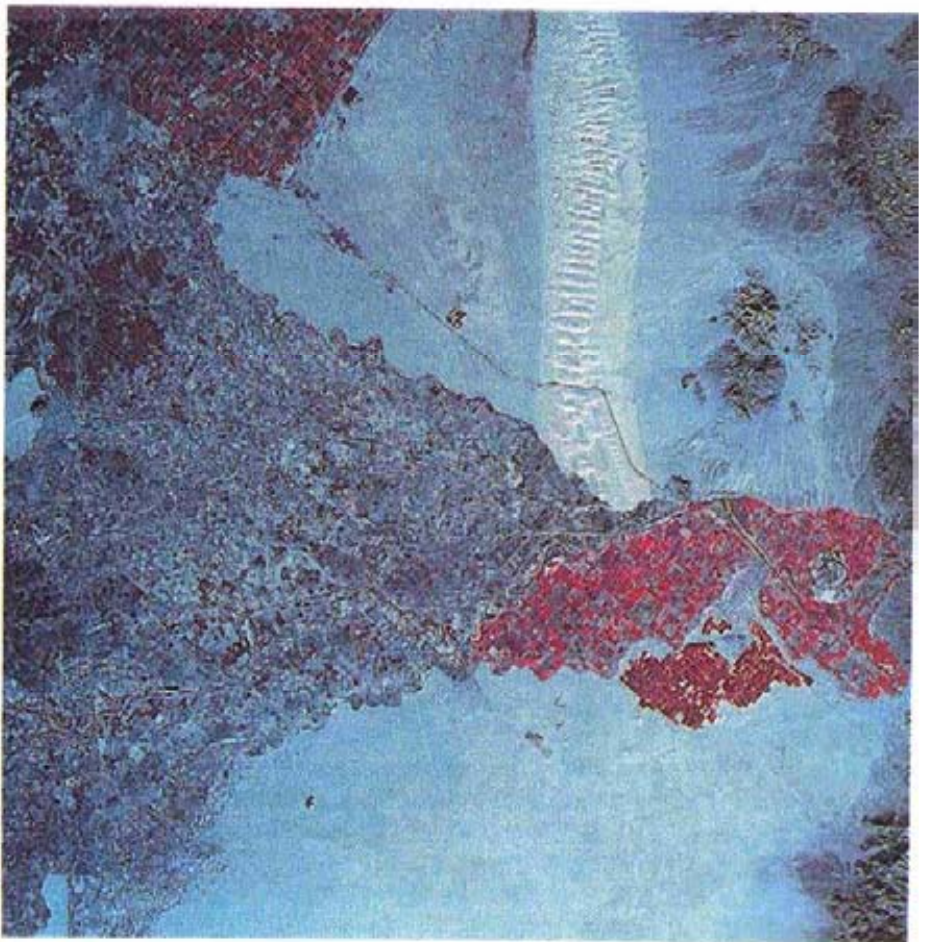
d



b



c



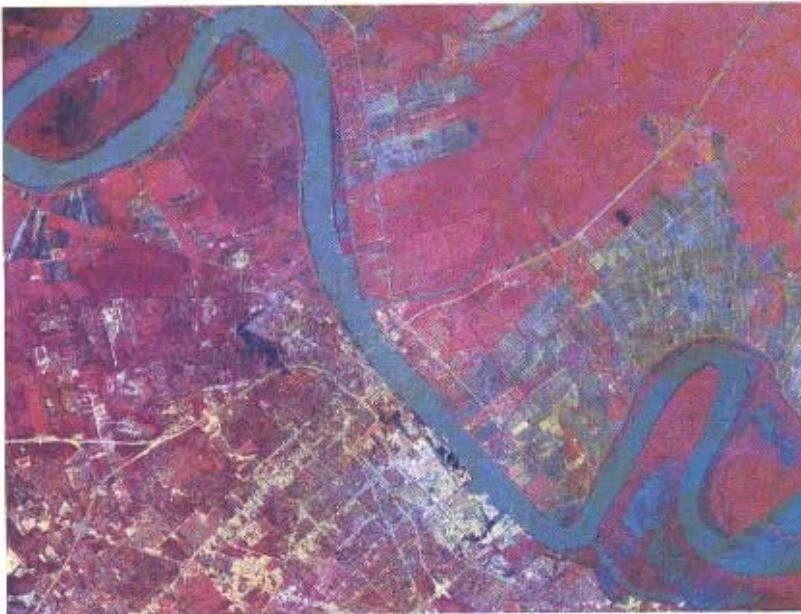
e



f



g

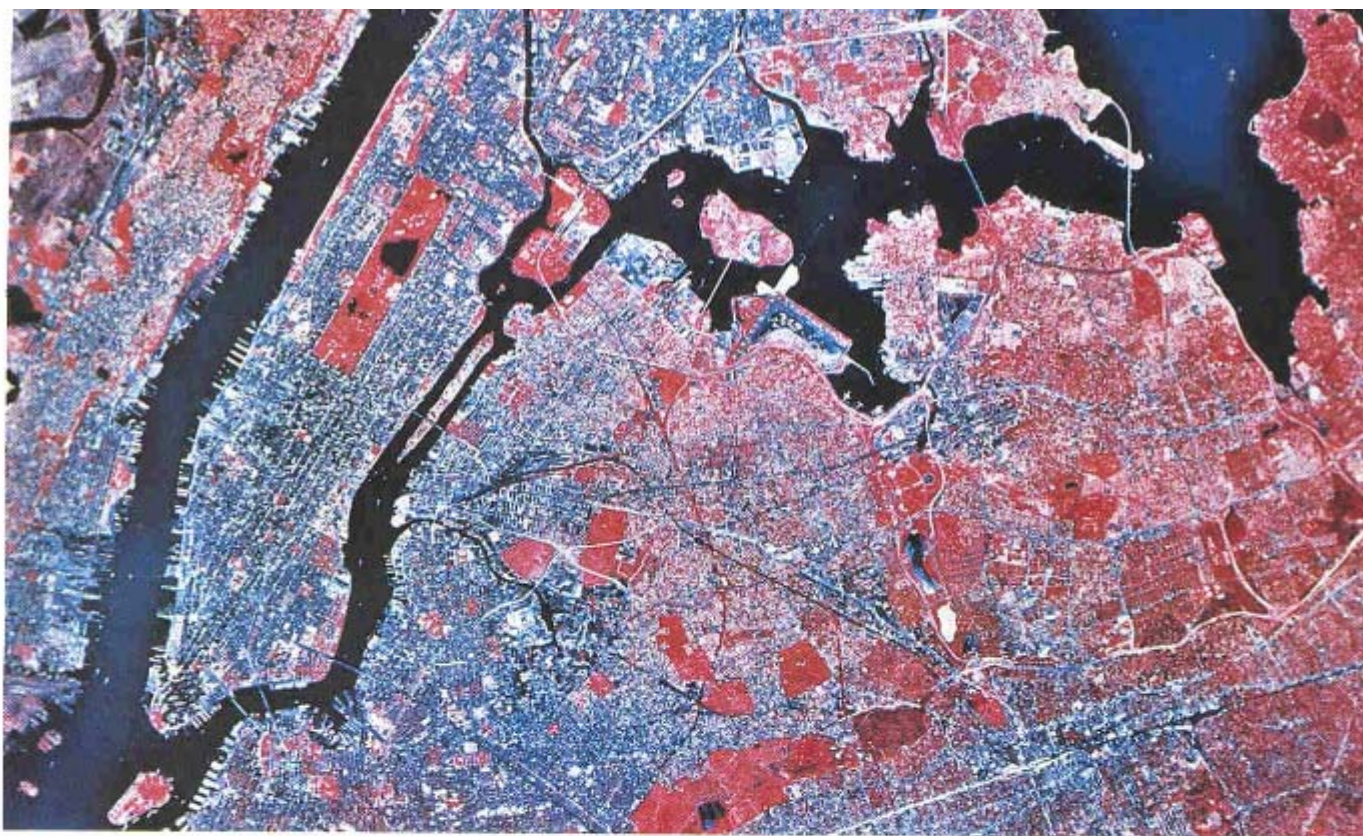


h



i

A procura pela vida na Terra, na luz solar refletida; as visões que Goddard sonhava: a Terra em crescente (a) a centenas de quilômetros de resolução mostra o oeste da África através das nuvens, mas nenhum vestígio de vida. Uma visão oblíqua retrata o Oriente Próximo nas adjacências do Mar Vermelho (b) aparentemente sem vida, com uma resolução a dezenas de quilômetros. Costa leste dos Estados Unidos (c), em falsa cor infravermelha, mostra nenhum vestígio de vida em Nova Iorque ou Washington, com uma resolução de 10 quilômetros. Ilha Berry (d) nas Bahamas: os recifes de coral são formados de colônias de animais, mas isto não é visível lá de cima. A uma resolução de cerca 10 metros, a vida inteligente na Terra se torna evidente. Os quadrados vermelhos (e) são terras cultivadas por projetos de irrigação perto de Yuma, Arizona, próximo do delta do Rio Colorado. As Montanhas de Areia Coachella, na parte superior central, são atravessadas pelo Canal All-American. O Rio Colúmbia (f,g), separando os estados de Washington e Oregon, em duas fotos diferentes. Os círculos são campos de trigo irrigados por crivos de aspersão rotativa. A uma resolução de 10 metros a presença da inteligência na zona urbana é revelada, como em Baton Rouge, em Louisiana (h), e em Washington DC (i). Fotos Apoio, Landsat e RB-57. Cortesia da NASA.



A cidade metrópole de Nova Iorque. Acima, uma visão vertical do Landsat em infravermelho próximo com uma resolução efetiva de 100 metros. A geometria horizontal das ruas, pontes e elevados é espantosa. O Aeroporto Internacional Kennedy é visível na parte inferior à direita. Nesta imagem de cor falsa, os parques e as áreas arborizadas aparecem em vermelho. Nas partes azuis escuras da água, vêem-se as esteiras dos barcos. Embaixo, à esquerda, temos uma visão oblíqua de Nova Iorque em luz visível, de um RB-57 de reconhecimento, com uma melhor resolução efetiva de algumas dezenas de metros em Brooklyn (*primeiro plano*). A geometria vertical dos arranha-céus no centro e na baixa Manhattan são visíveis, especialmente os dois edifícios gêmeos, que lançam sombras compridas, do World Trade Center. A estátua da Liberdade pode ser distinguida no centro, à esquerda. New Jersey repousa à distância. Cortesia da NASA. Quando a resolução chega a 1 metro ou menos, o contraste é maior, a forma de vida dominante no planeta se torna detectável. Na última foto vemos dúzias da forma dominante esquiando encosta abaixo. Cortesia de Photo Researchs. Foto de George Gerster.

achamos provável que estes ventos pegaram a Marte 3, e o seu pára-quedas foi desenrolado de tal modo que ela pousou gentilmente na direção vertical, mas com uma velocidade perigosa na direção horizontal. Uma espaçonave descendo sob o abrigo de um grande pára-quedas é particularmente vulnerável aos ventos horizontais. Após o pouso, a Marte 3 pode ter realizado alguns saltos, batido em um bloco ou outra saliência marciana qualquer, tombado, perdido o contato do rádio com o seu "ônibus" condutor e se quebrado.

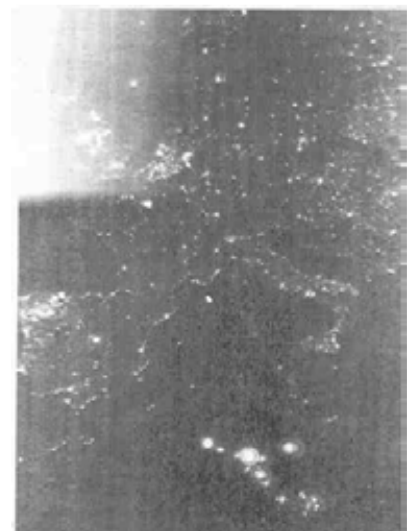
Mas, por que a Marte 3 entrou no meio de uma grande tempestade de areia? A missão Marte 3 foi rigidamente organizada antes do lançamento. Cada passo foi ensaiado por um computador de bordo antes de deixar a Terra. Não havia como alterar o programa do computador, mesmo quando a grande extensão da tempestade de areia de 1971 tornou-se evidente. No jargão da exploração espacial, a missão Marte 3 foi pré-programada e não adaptada. O fracasso da Marte 6 é ainda mais misterioso. Não havia tempestade atingindo o planeta todo quando a espaçonave penetrou na atmosfera marciana e nenhuma razão de suspeita de tempestade local, como acontece algumas vezes no sítio do pouso. Talvez tenha havido uma falha de engenharia no momento do pouso, ou quem sabe alguma coisa parcialmente perigosa na superfície marciana.

A combinação dos sucessos soviéticos nos pousos em Vênus e dos fracassos em Marte causou-nos interesse na missão americana Viking, que tinha sido informalmente esquematizada para fixar um de seus dois módulos cuidadosamente na superfície marciana no bicentenário dos Estados Unidos, a 4 de julho de 1976. Como os predecessores soviéticos, o módulo de excursão envolveu uma cobertura protetora, um pára-quedas e retrofoguetes. A atmosfera de Marte tem somente 1% da densidade da Terra, portanto foi desdobrado um pára-quedas muito grande, de dezoito metros de diâmetro, para segurar a espaçonave em sua entrada no ar rarefeito de Marte. A atmosfera é tão rarefeita que se a Viking tivesse pousado em uma elevação grande não teria havido atmosfera suficiente para brecar a descida adequadamente; teria despedaçado. Portanto, um requisito era que o local da descida fosse uma região baixa. Através resultados da Mariner 9 e estudos do radar no solo, viemos a conhecer muitas áreas.

Para evitar o provável destino da Marte 3, desejávamos que a Viking pousasse em um local e hora em que os ventos estivessem menores. Os ventos que talvez tenham partido o módulo eram provavelmente bastante fortes para levantar poeira da superfície. Se pudéssemos conferir que o provável local de pouso não estava coberto por poeira flutuando e amontoando-se, teríamos pelo menos uma pequena chance de garantia que os ventos não seriam intoleravelmente altos. Esta foi uma das razões pelas quais cada módulo da Viking foi levado para a órbita de Marte pela nave-mãe e a descida retardada até a nave-mãe ter sobrevoado o sítio de pouso. Descobrimos com a Mariner 9 que as mudanças características nos padrões claros e escuros na superfície marciana ocorriam durante os ventos fortes. Certamente não poderíamos nos certificar que o sítio de pouso da Viking seria seguro, uma vez que



América do Norte à noite, sua configuração sendo delineada pelas luzes das grandes cidades. Até mesmo a forma do Lago Michigan é discernível através das luzes da Grande Chicago. Esta imagem é uma evidência da vida na Terra. Mas as luzes mais brilhantes e o crescente sobre o Canadá não são decorrentes da biologia, mas sim da aurora boreal. Cortesia do Defense Meteorological Satellite Program.



O Mediterrâneo Oeste à noite. A Itália e a Sicília estão claramente delineadas pelas luzes citadinas. As luzes mais brilhantes são causadas pela queima de gás natural nos campos petrolíferos argelinos, que seriam, evidentemente, adequados para iluminar uma boa parte da Europa urbana. Cortesia do Defense Meteorological Satellite Program.

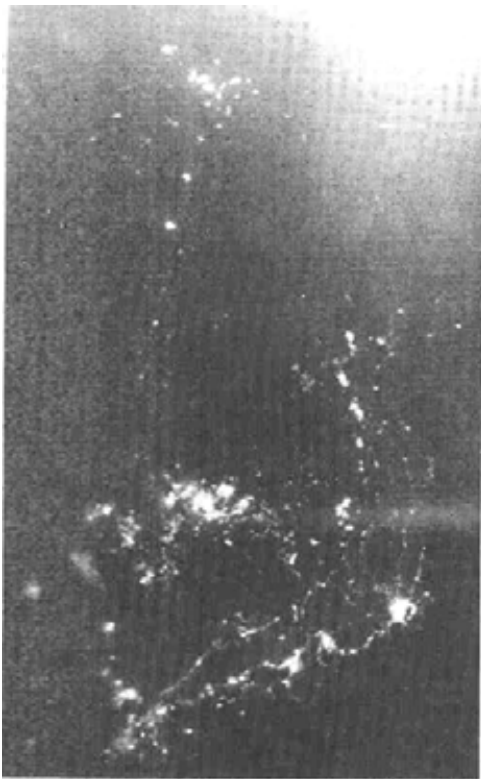


Imagem noturna do Mar do Japão. As luzes mais brilhantes são das quase 1.300 embarcações das frotas japonesa e coreana, de pesca de lula, utilizadas para atrair o molusco. Cortesia do Defense Meteorological Satellite Program.



Selo postal soviético ilustrando a descida da espaçonave Marte 3, ainda em sua cobertura de proteção de aterrissagem, no meio de uma tempestade de poeira violenta em 2 de dezembro de 1971.

as fotografias orbitais mostravam esses padrões mutáveis. Nossas garantias não podiam ser 100% seguras. Por exemplo, poderíamos imaginar um sítio de pouso no qual os ventos eram tão fortes que toda a areia a ser removida já tinha sido levada e não teríamos a indicação dos ventos existentes na área. As previsões meteorológicas detalhadas sobre o tempo atmosférico em Marte eram naturalmente muito menos seguras do que as previsões para a Terra. (Em verdade um dos muitos objetivos da missão Viking era ampliar a nossa compreensão do tempo em ambos os planetas.)

Pelas limitações de comunicação e temperatura, a Viking não poderia descer em latitudes altas de Marte. Em uma distância maior do que 45 ou 50 graus em direção aos pólos, em ambos os hemisférios, o tempo útil de comunicação da espaçonave com a Terra e o período durante o qual a nave evitaria as temperaturas perigosamente baixas teriam que ser drasticamente curtos.

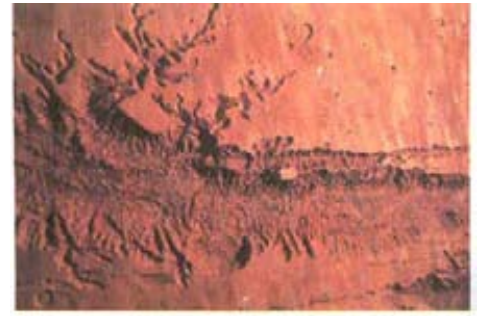
Não desejávamos um pouso em um local muito acidentado. A espaçonave poderia ter saltado e quebrado, ou pelo menos o seu braço mecânico, tentando recolher amostras do solo marciano, poderia ter entortado ou deixado ondulando sem esperanças a um metro acima da superfície. Igualmente não desejávamos pousar em lugares muito macios. Se as três traves de pouso da espaçonave afundassem muito em um solo pouco compacto, haveria várias consequências indesejáveis, incluindo a imobilização do braço de recolhimento de amostras. Também não desejávamos um solo muito duro — se pousássemos em um campo de lava vitrificada, por exemplo, com nenhuma matéria pulverizada, o braço mecânico não conseguiria recolher as amostras vitais para as experiências químicas e biológicas estipuladas.

As melhores fotografias disponíveis de Marte, tiradas a bordo na Mariner 9 em órbita, mostram formas de, no mínimo, 90 metros (100 jardas) de extensão. As da Viking foram um pouco melhores. Pedras de um metro (três pés) eram inteiramente invisíveis nas primeiras fotos e poderiam ter provocado consequências desastrosas para a Viking. Além disso, a poeira macia e profunda seria indetectável nas fotos. Felizmente, há uma técnica que nos permitiu determinar a aspereza ou a suavidade do local-candidato: o radar. Um local áspero espalharia o feixe de radar da Terra para os lados e apareceria com pouco reflexo, ou imagens escuras. Um lugar muito macio também apareceria com pouco reflexo pelos vários interstícios entre os grãos de areia espalhados. Enquanto permanecermos incapazes de distinguir locais ásperos dos macios, não haverá necessidade de fazer tal distinção para uma seleção de sítio de pouso, pois ambos sabemos serem perigosos. As perspectivas preliminares pelo radar sugerem que entre um quarto a um terço da área da superfície de Marte deve ser radar-escuro e, portanto, perigosa para a Viking. Mas nem tudo de Marte pode ser visto por um radar com base na Terra, somente uma parte entre 25° N e 25° S. A nave Viking não possui sistema de radar próprio para mapear a superfície.

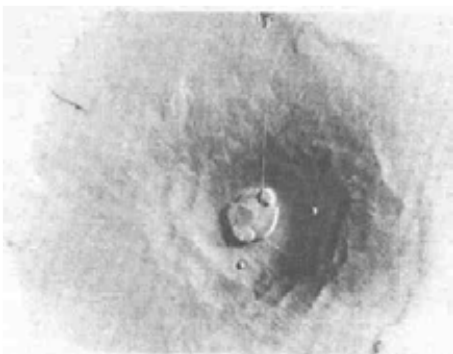
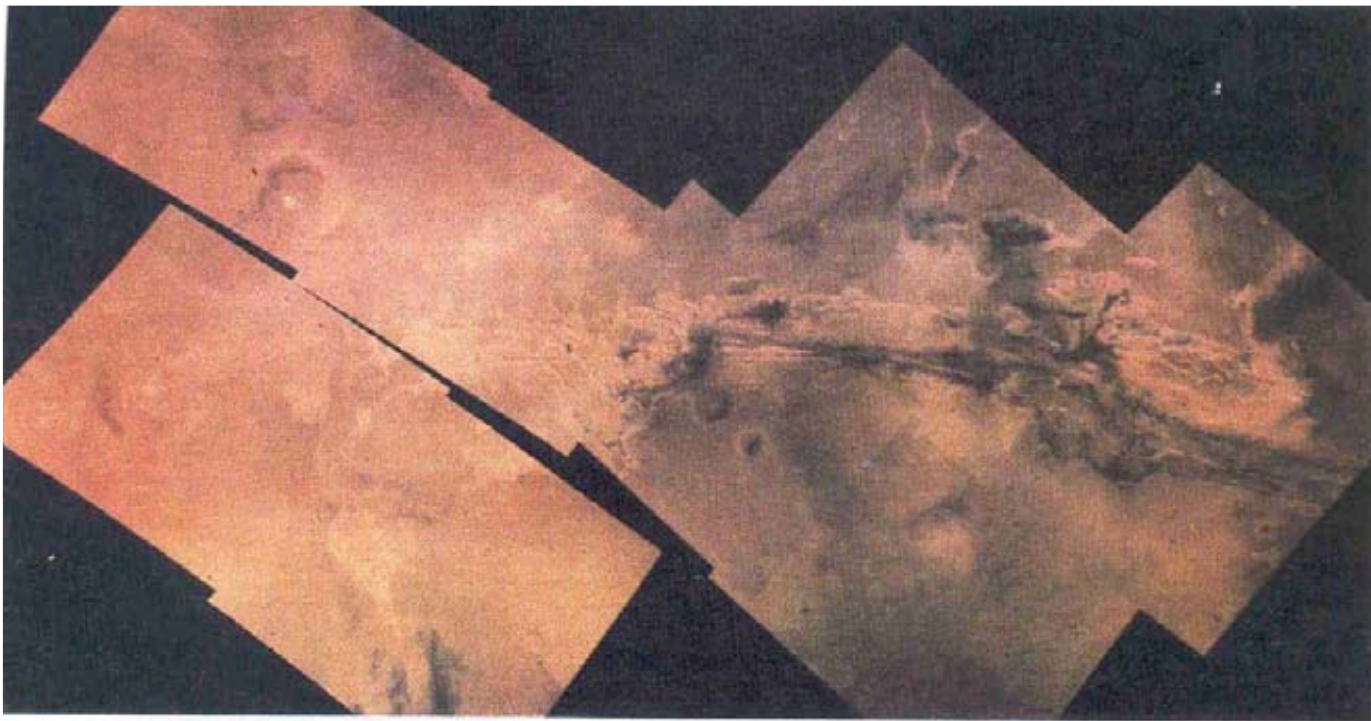
Havia muitas dificuldades, talvez demais. Nossos sítios de pouso deveriam não ser muito altos, com muito vento, muito duros, muito macios, muito ásperos ou muito próximos aos pólos. É digno de observação o fato de não haver locais em Marte que satisfizessem simultaneamente todas as nossas reivindicações de segurança, mas ficou claro que nossa procura por um porto seguro levou-nos a locais de desembarque que eram, de um modo geral, monótonos.

Quando cada uma das Vikings, nave-mãe e módulo, penetrou na órbita marciana foi, sem alterações, orientado o pouso em uma determinada *latitude* de Marte. Se o ponto mais baixo na órbita era 21° de latitude norte-marciana, o módulo desceria a 21° N, embora pela espera do giro do planeta, ela pudesse descer em qualquer *longitude*. Assim, a equipe de ciência da Viking selecionou latitudes-candidatas para as quais haveria mais de um local promissor. Para a Viking 1 o alvo foi 21° N. O primeiro local foi em uma região chamada Chryse (termo grego para a "terra de ouro"), próxima à confluência de quatro canais sinuosos que se julga terem sido talhados, em épocas anteriores da história marciana, pela água corrente. O local Chryse parecia satisfazer o critério de segurança, mas as observações do radar tinham sido feitas em áreas próximas e não no próprio Chryse. As observações de radar do Chryse foram feitas pela primeira vez, em consequência da geometria da Terra e de Marte, somente poucas semanas antes da data certa do pouso.

A latitude-candidata da descida para a Viking 2 foi 44° N; o primeiro local chamado Cydonia, escolhido de acordo com alguns argumentos teóricos, apresentava uma chance significativa de pequenas quantidades de água límpida, pelo menos durante algum tempo do ano marciano. Uma vez que as experiências biológicas da Viking eram fortemente voltadas para organismos que se sentem bem na água líquida, alguns cientistas sustentaram que a chance da Viking encontrar vida seria substancialmente melhor em Cydonia. Por outro lado argumentou-se que, em um planeta turbulento como Marte, os microrganismos estariam em toda a parte, se existissem. Parecia haver mérito em ambas as posições e foi difícil decidir. Contudo, o que estava claro, é que a 44° N era completamente inacessível à verificação pelo radar; teríamos que aceitar um risco considerável de malogro com a Viking 2 se fosse determinada para uma alta latitude norte. Argumentou-se algumas vezes que se a Viking 1 estava pousada e trabalhando bem, deveríamos aceitar um risco maior para a Viking 2. Descobri-me formulando recomendações conservadoras em relação a uma missão de um bilhão de dólares. Podia imaginar, por exemplo, uma falha em um instrumento-chave em Chryse logo após uma descida infeliz e estrondosa em Cydonia. Para ampliar as opções da Viking, outros sítios de pouso, geologicamente bem diferentes de Chryse e Cydonia, foram selecionados em uma região pesquisada pelo radar próximos à latitude 4° S. A decisão se a Viking 2 desceria em uma latitude alta ou baixa não foi tomada até virtualmente o último minuto, quando um lugar com o nome cheio de esperança, Utopia, e na mesma latitude de Cydonia, foi



Partes do grande Vale Mariner, Vallis Marineris. Descoberto em 1971-1972 pelo Mariner 9, possui 5.000 quilômetros de extensão e aproximadamente 100 quilômetros de largura. No modelo (ao alto) vêem-se vales tributários, causados possivelmente pela água descendo e pelas correntes de vento associadas a crateras de impacto. As fotos enviadas pelo Mariner 9 (centro e abaixo) mostram avalanches que provocaram quedas de paredes e alargaram o vale, e um gigantesco campo escuro de duna de areia no solo do Vallis Marineris. Cortesia da NASA. Modelo de Don Davis.



Alto: Mosaico colorido, da Viking Orbiter, de três dos quatro grandes vulcões em Tharsis, em Marte, e nas porções ocidentais do Vallis Marineris. A imagem do Mariner 9 (*centro*) e o modelo (*abaixo*) do Monte Olimpo, Olympus Mons, a maior composição vulcânica definitivamente identificada no sistema solar até agora. Sua área é quase que a mesma do Estado do Arizona, Estados Unidos, e tem quase três vezes a altura do Monte Everest. Surgiu em uma época de grande atividade geológica em Marte, há cerca de um bilhão de anos. Cortesia da NASA. Modelo de Don Davis.

escolhido. Quanto à Viking 1, o local de descida original pareceu, após examinarmos as fotografias tiradas em órbita e trazidas posteriormente para os dados do radar baseado na Terra, inaceitável mente perigoso. Por um momento temi que a Viking tivesse sido condenada, como o lendário Flying Dutchman, a vagar pelos céus de Marte para sempre, não encontrando nunca um céu seguro. Casualmente descobrimos um ponto conveniente, ainda em Chryse mas afastado da confluência dos quatro canais antigos. O atraso impediu a descida a 4 de julho de 1976, mas foi aceito por todos, pois uma descida desastrosa naquela época seria um presente pelos duzentos anos não muito agradável para os Estados Unidos. Saímos da órbita e penetramos na atmosfera marciana dezesseis dias depois.

Após uma viagem interplanetária de um ano e meio, cobrindo uma distância de cem milhões de quilômetros, um longo caminho em torno do Sol, cada combinação nave-módulo foi inserida em sua própria órbita à volta de Marte; as naves inspecionaram os locais candidatos a pouso; os módulos penetraram na atmosfera marciana sob radiocomandos e orientaram corretamente as coberturas protetoras, desdobraram o pára-quedas, despojaram as coberturas e acionaram os retrofoguetes. Em Chryse e Utopia, pela primeira vez na história da humanidade, uma espaçonave tinha descido, suave e seguramente, no planeta vermelho. Estes pousos triunfantes eram, em grande parte, devidos à alta perícia investida em seu projeto, fabricação e testes, e à capacidade dos controladores da espaçonave. Mas, em um planeta tão perigoso e misterioso como Marte, houve também, pelo menos, sorte.

Imediatamente após o pouso chegaram as primeiras fotos. Sabíamos ter escolhido locais monótonos. A primeira foto tirada pelo módulo Viking 1 foi de uma de suas hastes, pois no

caso de estar em areia movediça queríamos saber antes da espaçonave desaparecer. O quadro se montou, linha por linha, até que, com enorme precisão, vimos a haste assentada, alta e seca, acima da superfície marciana. Logo chegaram outras fotos, cada elemento enviado individualmente pelo rádio para a Terra.

Lembro-me imobilizado pela primeira imagem do pouso a mostrar o horizonte de Marte. Não era um mundo alienígena, pensei. Conhecia lugares semelhantes àquele no Colorado, Arizona e Nevada. Havia rochas e montes de areia, e uma pequena elevação distantes, tão natural e inconsciente como qualquer paisagem na Terra. Marte é um local especial. Ficaria surpreso em ver um explorador grisalho emergir por trás de uma duna puxando a sua mula, mas ao mesmo tempo a idéia parecia apropriada. Nada remotamente parecido jamais passou pela minha mente em todas as horas que passei examinando as imagens das Veneras 9 e 10 da superfície de Vênus. De um modo ou outro, era um mundo ao qual voltaríamos.

A paisagem era chapada, vermelha e adorável: pedras atiradas pela formação de uma cratera em alguma parte no horizonte, pequenas dunas de areia, rochas que tinham sido repetidamente cobertas e descobertas pela areia, penachos de material fino como areia soprados pelos ventos. De onde vieram as rochas? Qual a quantidade de areia removida? Qual terá sido a história anterior do planeta para criar rochas buriladas, seixos sepultados e goivas poligonais no solo? De que são formadas as rochas? Do mesmo material da areia? Será a areia, rocha pulverizada, ou será outra coisa? Por que o céu é rosa? De que será formado o ar? Qual a velocidade do vento? Haverá tremores de terra? Como mudarão a pressão atmosférica e a aparência da paisagem de acordo com as estações?

Para cada uma dessas perguntas, a Viking providenciou respostas definitivas ou, pelo menos, plausíveis. O Marte revelado pela missão Viking é de grande interesse, particularmente quando lembramos que os locais de pouso foram escolhidos pela sua monotonia. As câmeras não revelaram os construtores dos canais, carros aéreos barsoomianos ou espadas curtas, princesas ou lutadores, sapos, pegadas, nem mesmo um cacto ou rato-canguru. Até onde pudemos ver, não havia nenhum sinal de vida.*

Talvez haja grandes formas de vida em Marte, mas não nos dois locais de pouso. Talvez haja pequenas formas de vida em cada rocha e em cada grão de areia. Na maior parte de sua história, as regiões da Terra não cobertas por água pareceram bastante com as do Marte atual, com uma atmosfera rica em dióxido de carbono, luz ultravioleta incidindo diretamente na superfície atravessando uma atmosfera sem ozônio. Plantas e animais não colonizaram a Terra a não ser nos últimos 10% da história da Terra. E por três bilhões de anos houve microrganismos em toda a parte. Procurar



Geada e nevoeiro matinais nos terrenos profundamente erodidos do Noctis Labyrinthus, o Labirinto da Noite. Foto Viking Orbiter. Cortesia da NASA.



Porção do Kasei Vallis, antigo vale fluvial em Marte. Kasei é o nome japonês de 'Marte'. As crateras de impacto no leito são evidência da sua antiguidade. A abundância da água líquida na superfície, em tempos mais recentes, na história marciana, sugerem que as condições para a vida são cada vez mais favoráveis. Foto Viking Orbiter. Cortesia da NASA.



Terrenos de crateras próximos à Bacia Chryse, inundados, há muito tempo, por torrentes de água líquida. Esta foi uma das razões pelas quais a Chryse foi escolhida para local de pouso da Viking 1, mas que por motivos de segurança não foi utilizado. Cortesia da NASA.

*Houve agitação quando apareceu uma letra B maiúscula, suposta gravação marciana em um pequeno seixo em Chryse. Uma análise posterior revelou ter sido uma ilusão de luz e sombra aliada ao talento humano para reconhecimento de padrões. Parecia também admirável que os marcianos tivessem tropeçado com o alfabeto latino, mas por um momento, ecoaram em minha mente as recordações³⁷ distantes de uma palavra da minha infância — Barsoom.



Viking Lander, com sua cobertura protetora de aterrissagem (*parte inferior*) se separa do Orbiter e penetra na delgada atmosfera marciana. Ambos se encontram em órbita de Marte, centenas de quilômetros abaixo, com sua capota polar em destaque. Criação de Don Davis.



Viking 1 Lander, ainda com sua cobertura, quando o pára-quadras começa a se desdobrar. Esta criação de Don Davis, feita antes do pouso, mostra a descida no local original, em Chryse. Pelos dados obtidos após o pouso, o céu de Marte não é azul, mas sim amarelo-rosado, decorrente das finas partículas de ferrugem em suspensão.

pela vida em Marte é procurar por micróbios.

A Viking estendeu as aptidões humanas a outros panoramas alienígenos. Em alguns aspectos ela é tão esperta como um gafanhoto, em outros sua inteligência é de apenas uma bactéria. Não há nada de desmerecedor nestas comparações. A natureza levou milhões de anos para evoluir uma bactéria, e bilhões para fazer um gafanhoto. Com pouca experiência neste assunto, estamos tornando muito hábeis nele. A Viking, como nós, possui dois olhos, que trabalham também no infravermelho, e nós, não; um braço de recolhimento de amostras pode empurrar pedras, cavar e apanhar material; um tipo de dedo consegue medir a velocidade do vento e determinar sua direção; um botão-nariz e um botão-tátil são órgãos sensitivos com uma precisão que não possuímos, que detectam a presença de vestígios de moléculas; um ouvido interior com o qual determina o ruído de um tremor e o balanço sutil provocado pelo vento na espaçonave, e um meio de detectar micróbios. A espaçonave contém sua fonte própria de poder radioativo. Transmite pelo rádio toda a informação científica adquirida de volta para a Terra. Recebe instruções daqui, de modo que os seres humanos podem ponderar o significado dos resultados da Viking e ordenar à espaçonave a execução de novas tarefas.

Mas, qual o melhor caminho, considerando-se as restrições de tamanho, custo e exigências, para procurar por micróbios em Marte? Não podemos, pelo menos agora, enviar para lá microbiólogos. Tive um amigo, um excelente microbiólogo chamado Wolf Vishniac, da Universidade de Rochester, em Nova Iorque. Nos últimos anos da década de 50, quando estávamos começando a pensar seriamente na procura da vida em Marte, Vishniac descobriu-se em um encontro científico onde um astrônomo expressou sua surpresa pelo fato de biólogos não possuírem nenhum instrumento automático simples e digno de confiança capaz de procurar por microrganismos. Decidiu fazer alguma coisa sobre o assunto.

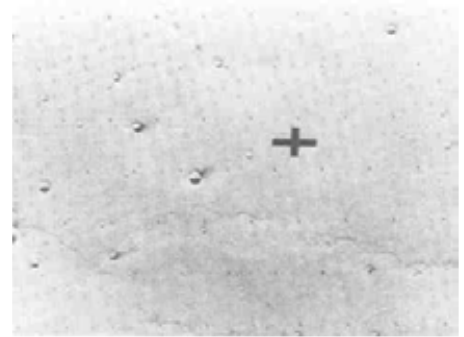
Desenvolveu um pequeno engenho a ser enviado aos planetas. Seus amigos chamaram-no de A Armadilha de Wolf. Levaria um pequeno frasco de matéria orgânica nutriente para Marte, prepararia uma amostra do solo marciano a ser misturada ao nutriente e observaria a mudança da turvação ou opacidade do líquido enquanto os micróbios marcianos (se existissem) cresceriam (se pudessem). A Armadilha de Wolf foi selecionada junto com outros três experimentos para ir a bordo da Viking. Dois dos outros três também foram escolhidos para levar alimentos aos marcianos. O sucesso da Armadilha de Wolf dependia de os micróbios de Marte gostarem de água líquida. Houve quem pensasse que Vishniac iria somente afogar os micróbios. Mas a vantagem da armadilha estava no fato de não haver exigências sobre o que os micróbios marcianos deveriam fazer com a sua comida. Teriam somente que crescer. As outras experiências faziam suposições específicas a respeito dos gases que deveriam ser expelidos ou assimilados pelos micróbios, suposições que eram mais do que conjecturas.

A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (sigla em inglês NASA), que dirige o programa espacial dos Estados Unidos, está sujeita a cortes orçamentários freqüentes e imprevisíveis. As atividades científicas da NASA têm muito pouco apoio do governo, de modo que a ciência é muitas vezes o alvo quando há necessidade de diminuir a verba. Em 1971 decidiu-se que uma das quatro experiências de microbiologia deveria ser retirada, e foi escolhida a Armadilha de Wolf. Para Vishniac foi um tremendo desapontamento, pois tinha dedicado doze anos à sua experiência.

Muitos outros em seu lugar teriam evitado o Time de Biologia da Viking, mas Vishniac era um homem dedicado e tranqüilo. Decidiu então que poderia servir melhor à procura da vida em Marte viajando para o lugar na Terra mais parecido com o ambiente de Marte — os vales secos da Antártica. Alguns investigadores tinham examinado anteriormente o solo antártico e concluído que os poucos micróbios que tinham conseguido encontrar não eram realmente nativos dos vales secos, mas tinham parado lá, levados de um outro ambiente mais clemente. Relembrando as experiências do Jarro de Marte, Vishniac acreditou que a vida era tenaz e que a Antártica era perfeitamente consistente com a microbiologia. Se micróbios terrestres podiam viver em Marte, por que não na Antártica, que era de um modo geral mais quente e úmida, e tinha mais oxigênio e menos luz ultravioleta? Em outras palavras, descobrir a vida nos vales secos antárticos ampliaria, correspondentemente, as chances de vida em Marte. Vishniac acreditou que as técnicas experimentais previamente utilizadas na dedução da não-existência de micróbios originários da Antártica eram falhas. Os nutrientes, apropriados ao ambiente confortável de um laboratório de microbiologia da universidade, não eram destinados à árida vastidão polar.

Então, a 8 de novembro de 1973, Vishniac, com um novo equipamento de microbiologia, e um geólogo foram transportados de helicóptero da estação de McMurdo para uma área próxima ao Monte Balder, um vale seco na serra de Asgard. Seu método era implantar pequenas estações microbiológicas no solo antártico e retornar um mês depois para recuperá-las. A 10 de dezembro de 1973, ele saiu para recolher amostras no Monte Balder; sua saída foi fotografada a três quilômetros de distância. Foi a última vez que alguém o viu vivo. Dezoito horas mais tarde seu corpo foi descoberto na base de um penhasco de gelo. Ele tinha vagado em uma área não explorada anteriormente, escorregado no gelo, rolado e arremessado a uma distância de 150 metros. Talvez alguma coisa tenha chamado sua atenção, talvez um habitat adequado aos micróbios, ou um pedaço de verde que ninguém tinha visto antes. Nunca saberemos. No pequeno livro marrom de anotações que levava naquele dia, o último registro dizia: "Estação 202 — recolhida. Dez de dezembro de 1973. Hora: 22.30. Temperatura do solo: -10°. Temperatura do ar: -16°." Era uma temperatura típica de verão em Marte.

Muitas das estações microbiológicas de Vishniac ainda estão na Antártica, mas as amostras que voltaram foram examinadas, utilizando-se seus métodos, por seus amigos e colegas



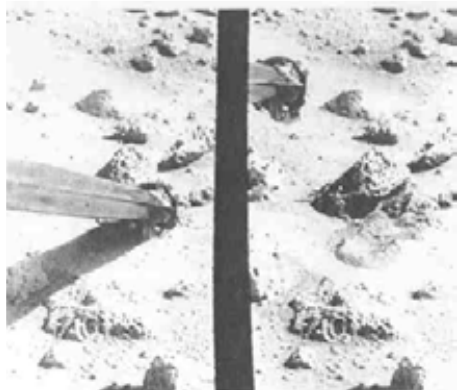
Terreno plano na Chryse Planitia, onde a Viking 1 aterrissou. O pouso se deu a poucos quilômetros da área assinalada pela cruz, após a viagem interplanetária de algumas centenas de milhões de quilômetros. Cortesia da NASA.



Pouso simulado, no Vale da Morte, Califórnia, da Viking em Marte. Os estágios finais de descida são freados pelo combustível dos retrofoguetes.



Wolf Vladimir Vishniac, microbiólogo (1922-1973). Fotografado na Antártica, em 1973. Cortesia de Zeddie Bowen.



Braço para recolhimento de amostras da Viking 1 em Marte, retirando amostras de solo para experiências microbiológicas deixando uma vala pouco profunda (à direita). Cortesia da NASA.

profissionais. Uma grande variedade de micróbios, que teriam sido indetectáveis pelas técnicas convencionais, foi encontrada essencialmente em cada local examinado. Uma nova espécie de levedura, aparentemente única na Antártica, foi descoberta em suas amostras pela sua viúva, Helen Simpson Vishniac. Grandes rochas que voltaram com esta expedição e foram examinadas por Imre Friedmann apresentaram uma microbiologia fascinante — uma dois milímetros dentro da rocha as algas tinham colonizado um mundo diminuto no qual foram aprisionadas pequenas quantidades de água e tornada líquida. Em Marte um local desses seria ainda mais interessante, porque enquanto a luz visível necessária à fotossíntese penetrasse, a luz ultravioleta germicida seria, pelo menos em parte, atenuada.

Por ter o projeto das missões espaciais finalizado muitos anos antes do lançamento e por causa da morte de Vishniac, os resultados de suas experiências na Antártica não influenciaram o projeto Viking para a procura de vida marciana. Em geral as experiências microbiológicas não são realizadas em temperaturas ambientais baixas como em Marte, e a maioria não prevê longos períodos de incubação. Todas admitem suposições de como será o metabolismo marciano. Não havia como procurar pela vida dentro das rochas.

Cada módulo Viking foi equipado com um braço de recolhimento de amostras para apanhar material da superfície e então lentamente desviá-lo para dentro da espaçonave, transportando as partículas em uma pequena tremonha como um encadeamento elétrico para cinco experiências diferentes: uma sobre a química inorgânica do solo, outra para a procura de moléculas orgânicas na areia e poeira, e três para procura da vida microbiana. Quando procuramos pela vida em um planeta, estamos fazendo certas suposições. Tentamos, o melhor que podemos, não assumir que a vida em outros locais será como a nossa aqui. Mas há limites naquilo a que nos propomos fazer. Sabemos com detalhes como é aqui. Enquanto as experiências biológicas da Viking são um esforço pioneiro, eles dificilmente representam uma procura definitiva pela vida em Marte. Os resultados têm sido torturantes, perturbadores, provocativos, estimulantes e, pelo menos até pouco tempo, substancialmente inconclusivos.

Cada uma das três experiências microbiológicas fazia uma pergunta diferente, mas, em todas elas, a questão era sobre o metabolismo marciano. Se há microrganismos no solo de Marte, eles devem alimentar-se de comida e liberar os gases, ou então assimilar os gases da atmosfera e, talvez com a ajuda da luz solar, convertê-los em material útil. Então vamos trazer alimentos para Marte e esperar que os marcianos, se existirem, os achem saborosos. Veremos então se surgirão novos gases interessantes do solo. Ou então providenciaremos nossos próprios gases marcados radioativamente e veremos se serão convertidos em matéria orgânica, e então concluir pela existência de pequenos marcianos.

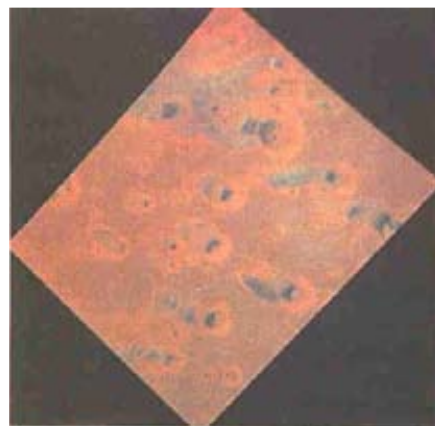
Pelo critério estabelecido antes do lançamento, duas das três experiências microbiológicas da Viking pareciam ter pro-

duzido resultados positivos. Primeiro, quando o solo marciano foi misturado a uma sopa orgânica estéril da Terra, algo no solo quimicamente rompeu a sopa, quase como que houvesse micróbios aspiradores metabolizando um pacote de comidas terrenas. Segundo, quando gases da Terra foram introduzidos na amostra de solo marciano, eles se combinaram quimicamente com o solo, quase como que se houvesse micróbios fotossintetizadores, gerando matéria orgânica dos gases atmosféricos. Atingiram-se resultados positivos na microbiologia marciana em sete amostras diferentes em dois locais de Marte, separados por 5.000 quilômetros.

A situação é complexa, e os critérios do sucesso experimental talvez inadequados. Foram feitos esforços enormes para montar as experiências microbiológicas da Viking e testá-las com uma variedade de micróbios. Poucos esforços foram feitos no sentido de dosar as experiências com materiais inorgânicos adequados da superfície marciana. Marte não é a Terra. Como nos lembra o legado de Percival Lowell, podemos estar agindo como tolos. Talvez haja uma química inorgânica exótica no solo marciano que é capaz, por si mesma, na ausência de micróbios marcianos, de oxidar suprimentos alimentares. Talvez haja algum catalisador especial não-vivo, inorgânico, no solo que seja capaz de fixar os gases atmosféricos e convertê-los em moléculas orgânicas.

As experiências recentes sugerem que talvez seja este o caso. Na grande tempestade de poeira marciana de 1971, características espectrais de poeira foram obtidas pelo espectrômetro infravermelho da Mariner 9. Na análise deste espectro O. B. Toon, J. B. Pollack e eu descobrimos que certas características parecem melhor explicadas pela montemorlonita e outros tipos de argila. Observações subseqüentes da Viking sustentaram a identificação de argila carregada pelo vento em Marte. Agora, A. Banin e J. Rishpon descobriram que podem reproduzir alguns tipos de características-chave, as que parecem fotossíntese e respiração, das experiências microbiológicas "bem-sucedidas" da Viking, se nas experiências laboratoriais eles substituírem estas argilas pelo solo marciano. As argilas possuem uma superfície ativa complexa, como absorver e liberar gases, e catalisar reações químicas. É muito cedo para dizer se todos os resultados microbiológicos da Viking podem ser explicados pela química inorgânica, mas esta conclusão não será mais surpreendente. A hipótese da argila dificilmente exclui a vida em Marte, e certamente nos impele para a evidência da microbiologia marciana.

Mesmo assim, os resultados de Banin e Rishpon são de grande importância biológica porque mostram que, na ausência de vida, pode haver um tipo de química de solo que realiza as mesmas coisas que a vida. Na Terra, antes da vida, podem já ter existido processos químicos parecidos com a respiração e a fotossíntese no solo, talvez para serem incorporados à vida quando esta surgisse. Além disso, sabem que as argilas da montemorlonita são um potente catalisador na combinação de aminoácidos na maior cadeia de moléculas que lembram proteínas. As argilas da Terra primitiva



Areia e poeira trazidas pela corrente a sotavento das crateras de impacto, no Sinus Meridiani. Cortesia da NASA.



Areia e poeira trazidas pela corrente a sotavento das pequenas rochas no local de pouso da Viking 1. Cortesia da NASA.



Bloco de pedra coberto de areia conhecido como "Big Joe", em Chryse. Se a Viking 1 tivesse pousado sobre ele, a espaçonave teria se despedaçado. Cortesia da NASA.



Pequeno movimento de areia, decorrente talvez do vento, na base do "Big Joe". Cortesia da NASA.

podem ter sido a forja da vida, e a química do Marte contemporâneo está fornecendo indicações da origem e história inicial da vida em nosso planeta.

A superfície marciana exibe muitas crateras de impacto, cada uma com o nome de uma pessoa, geralmente cientista. A cratera Vishniac repousa, apropriadamente, na região antártica de Marte. Vishniac não afirmou que havia vida em Marte, mas disse meramente que era possível e muitíssimo importante saber se existiria. Se assim fosse, teríamos uma oportunidade única para testar a generalidade da nossa forma de vida. E, se não houvesse vida em Marte, um planeta bem semelhante à Terra, deveríamos entender o porquê, pois neste caso, como ressaltou Vishniac, teríamos o clássico confronto científico da experiência e do controle.

A descoberta que os resultados microbiológicos da Viking podiam ser explicados através da argila, que não necessitavam importar em vida, ajudaram a resolver outro mistério: a experiência da química orgânica da Viking não apresentou nenhuma sugestão de matéria orgânica no solo marciano. Se há vida em Marte, onde estão os corpos mortos? Não foram encontradas moléculas orgânicas, nem blocos de construção de proteínas e ácidos nucleicos, nem hidrocarbonetos simples, nada da matéria da vida na Terra. Isto não é necessariamente uma contradição, porque as experiências microbiológicas da Viking são mil vezes mais sensíveis (por átomo de carbono equivalente) do que as de química, e parecem ter detectado matéria orgânica sintetizada no solo marciano. Isto não nos deixa muita margem. O solo terrestre é sobrecarregado de restos orgânicos de seres que já viveram; o marciano possui menos matéria orgânica do que a superfície da Lua. Se sustentarmos a hipótese de vida deveremos supor que os corpos mortos foram destruídos pela superfície oxidante de Marte, quimicamente reativa, como um germe em uma garrafa de peróxido, ou que há vida, mas de um tipo no qual a química orgânica desempenha um papel não tão central como o faz na vida da Terra.

Esta última alternativa parece-me ser uma defesa especial. Sou, relutantemente, um chauvinista confesso do carbono. O carbono é abundante no Cosmos. Forma moléculas maravilhosamente complexas, boas para a vida. Também sou um chauvinista da água. A água efetua um sistema de solvente ideal para a química orgânica trabalhar, e permanece líquida em uma grande extensão de temperaturas. Algumas vezes eu divago. Terá o meu carinho por esses materiais alguma coisa a ver com o fato de ser formado principalmente por eles? Somos basicamente água e carbono por serem estes materiais abundantes na Terra quando da origem da vida? Poderá a vida em outros locais, por exemplo Marte, ser formada de matéria diferente?

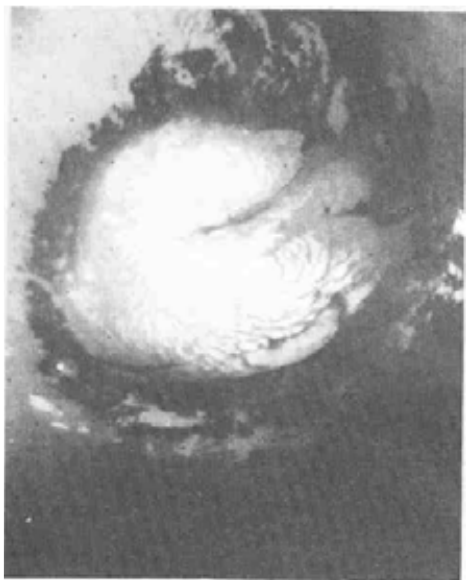
Sou uma coleção de água, cálcio e moléculas orgânicas chamada Carl Sagan. Você é uma coleção de moléculas quase idênticas com um rótulo coletivo diferente. Mas isto é tudo? Não há nada dentro a não ser moléculas? Algumas pessoas acham esta idéia um tanto desmerecedora para a dignidade humana. Quanto a mim, acho-a ascendente, pois o nosso universo permite a evolução de máquinas moleculares tão intrincadas e sutis como nós.



Viking Lander, na simulação do Vale da Morte, Califórnia. Entre dois torreões com câmeras de televisão está o depósito do braço de recolhimento de amostras, ainda não desenrolado.

Mas a essência da vida não são só átomos e moléculas simples que nos colocam de pé como ficamos. Estamos sempre lendo que as químicas que constituem o corpo humano custam noventa e sete centavos ou dez dólares, ou algo semelhante. É um tanto depressivo descobrir que nossos corpos valem tão pouco. Entretanto, estas estimativas são, para seres humanos, reduzidas aos nossos componentes mais simples possíveis. Somos formados principalmente de água, que custa quase nada; o carbono é encontrado em forma de carvão, o cálcio de nossos ossos como giz; o nitrogênio em nossas proteínas como ar (também barato); o ferro em nosso sangue como pregos enferrujados. Se não tivéssemos um conhecimento maior, talvez tentássemos reunir todos os átomos que nos formam, misturá-los em um grande recipiente e agitá-los. Podemos fazer isto quantas vezes quisermos, mas no final tudo o que teremos é uma mistura de átomos. O que mais poderíamos esperar?

Harold Morowitz calculou o quanto custaria reunir os constituintes moleculares corretos que formam o ser humano, comprando moléculas de armazéns químicos. A resposta resultou em cerca de dez milhões de dólares, o que nos conforta um pouco mais. Mas mesmo assim não podemos misturar os elementos químicos e fazer emergir um ser humano do jarro. Isto está muito além da nossa capacidade e permanecerá muito além por um bom



Calota Polar Norte de Marte, circundada por dunas de areia escura. Esta calota é formada primordialmente de gelo de água; a Calota Polar Sul é, principalmente, dióxido de carbono congelado. Para escurecer as calotas seria menos dispendioso mover-se a areia adjacente do que se levar material da Terra, mas os ventos continuariam a branqueá-las. Foto Mariner 9. Cortesia da NASA.



Grandes rochedos íngremes de gelo, de um quilômetro de altura nos planaltos, arrumados como placas empilhadas na Calota Polar Norte de Marte. Os pontos espaçados regularmente são marcas fiduciais no sistema de imagem do Mariner 9. Cortesia da NASA.

período de tempo. Felizmente há outros métodos menos dispendiosos, mas ainda altamente seguros de se fazerem seres humanos.

Penso que as formas de vida em muitos mundos consistirão, de um modo geral, dos mesmos átomos que temos aqui, talvez muitas das mesmas moléculas básicas, como proteínas e ácidos nucleicos, mas reunidos de maneiras não familiares. Talvez organismos que flutuem em densas atmosferas planetárias sejam muito semelhantes a nós em sua composição atômica, exceto no fato de não terem ossos e, portanto, não necessitem de muito cálcio. Talvez em outros locais seja utilizado outro solvente. O ácido fluorídrico poderá servir, embora não haja muita quantidade de flúor no Cosmos; este ácido provoca um grande dano ao tipo de molécula que nos forma, mas outras moléculas orgânicas, a cera de parafina por exemplo, são perfeitamente estáveis em sua presença. A amônia líquida seria um sistema de solvente ainda melhor, pois é muito abundante no Cosmos, mas só é líquida em mundos bem mais frios do que a Terra ou Marte. A amônia é um gás comum na Terra, como o é a água em Vênus. Ou talvez existam formas vivas que não possuam um sistema solvente — vida em estado sólido, onde haja sinais elétricos propagando-se e não moléculas flutuando.

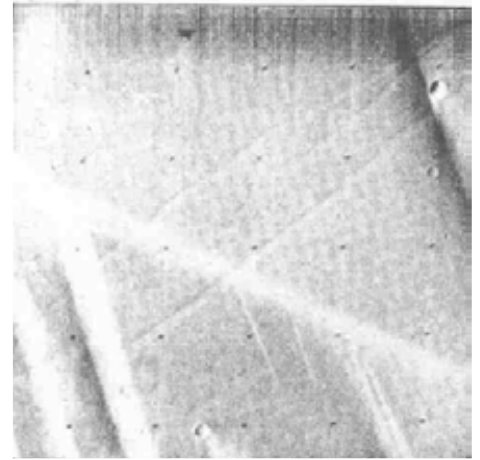
Mas estas idéias não liberam a noção de que as experiências da Viking indiquem a presença de vida em Marte. Neste mundo semelhante à Terra, com carbono e água abundantes, a vida, se é que existe, deve ser baseada em química orgânica. Os resultados desta, como os da microbiologia e os das nossas imagens, são todos consistentes com a não-existência de vida nas finas partículas de Chryse e Utopia nos últimos anos da década de 70. Talvez alguns milímetros dentro das rochas (como nos vales secos da Antártica), ou em outro local no planeta, ou em um tempo anterior, mais clemente, mas não onde e nem quando olhamos.

A exploração da Viking em Marte é uma missão de grande importância histórica, a primeira procura séria por outros tipos de vida que possam existir, a primeira sobrevivência de uma espaçonave funcionando por mais de uma hora em outro planeta (a Viking 1 sobreviveu por anos), fonte de uma rica colheita de dados sobre geologia, sismologia, mineralogia, meteorologia e mais meia dúzia de outras ciências de outro mundo. Como prosseguiremos nestes avanços espetaculares? Alguns cientistas desejam enviar um engenho automático que pousaria, recolheria amostras do solo e as traria de volta à Terra, onde poderiam ser examinadas em inúmeros detalhes em grandes laboratórios sofisticados e não naqueles microminiaturizados que somos capazes de enviar à Marte. Deste modo, a maior parte das ambigüidades das experiências microbiológicas da Viking poderiam ser resolvidas. A química e a mineralogia do solo poderiam ser determinadas; as rochas seriam partidas para procura da vida na subsuperfície; poderiam ser realizados centenas de testes de química orgânica e de vida, incluindo o exame microscópio direto sob uma grande gama de condições. Poderíamos utilizar até as técnicas de marcação de Vishniac.

Embora razoavelmente dispendiosa, uma missão deste tipo está dentro da nossa capacidade tecnológica.

Entretanto, ela encerrará um novo perigo: a contaminação. Se desejamos examinar, na Terra, as amostras do solo marciano à procura de micróbios, não devemos, naturalmente, esterilizar as amostras antes de tocá-las. O problema da expedição é trazê-los vivos. Mas, e depois? Representarão os microrganismos marcianos trazidos para a Terra um perigo para a saúde pública? Os marcianos de H. C. Wells e Orson Welles, preocupados com a supressão de Bournemouth e Jersey City, não tinham notado, a não ser quando era tarde demais, que suas defesas imunológicas eram inúteis contra os micróbios da Terra. Será o inverso possível? Este é um aspecto sério e difícil. Não devem existir micromarcianos. Se existem, talvez possamos ingerir um quilo deles sem nenhum efeito. Mas não temos certeza e os riscos são altos. Se desejamos trazer amostras não esterilizadas do solo marciano para a Terra devemos ter um procedimento comedido altamente seguro. Há nações que desenvolvem e estocam armas bacteriológicas. Parece ter havido acidentes ocasionais, mas até agora, que eu tenha conhecimento, não produziram uma pandemia global. Talvez as amostras marcianas possam ser trazidas para a Terra com segurança, mas quero estar bem certo antes de considerar uma missão com retorno de amostras.

Há uma outra maneira de investigar Marte, e a gama inteira de prazeres e descobertas que este planeta heterogêneo guarda para nós. Minha maior emoção no trabalho com as fotos da Viking foi a frustração perante a nossa imobilidade. Descobri-me inconsciente ansiando pela volta da espaçonave, como se este laboratório, destinado à imobilidade, estivesse perversamente recusando a executar um pequeno salto. Como suspiramos para esquadrihar aquela duna com o braço de recolhimento de amostras, procurar pela vida por trás da rocha, e verificar se aquela colina distante seria o bordo de uma cratera! E não muito distante, na direção sudeste, eu sabia estarem os quatro canais sinuosos de Chryse. Por todas as características torturantes e provocadoras dos resultados da Viking, sei de centenas de locais em Marte bem mais interessantes do que os escolhidos para o pouso. O instrumento ideal é um veículo motorizado transportando avançados equipamentos para experiências principalmente sobre imagens, química e biologia. Protótipos desses veículos estão sendo desenvolvidos pela NASA. Sabem por si mesmos como ultrapassar rochas, descer ravinas e como sair de locais difíceis.* Está dentro das nossas limitações fazer pousar um veículo destes em Marte que seja capaz de examinar cuidadosamente as vizinhanças, identificar o local mais interessante dentro do seu campo de visão e estar lá, na mesma hora, no dia seguinte. Cada dia um novo lugar, seguindo um caminho e atravessando a topografia variada deste atraente planeta.



Marcas leves inexplicadas no platô. Tarsis. Foto Mariner 9. Cortesia da NASA.

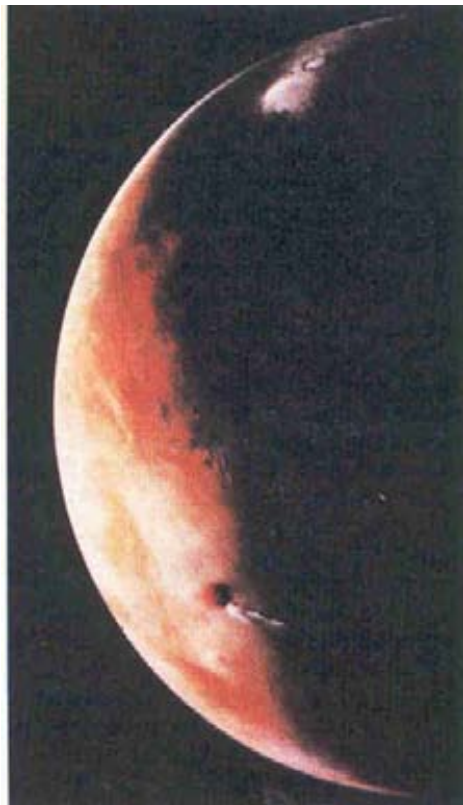


As pirâmides do Elysium. Foto Mariner 9. Cortesia da NASA.

*A maior apresenta 3 quilômetros de base e 1 quilômetro de altura, muito maior do que as pirâmides da Suméria, Egito, ou México. Parecem erodidas e antigas, e talvez sejam somente pequenas montanhas, gastas pelo tempo. Mas justificam uma investigação cuidadosa.



Representação de outro mundo: seixos espalhados e dunas de areia ondulantes no local de pouso da Viking 1, em Chryse. Cortesia da NASA.



Fotografia a distância de Marte em crescente, feita pela Viking 1, mostrando uma cratera na Calota Polar Norte, e nuvens orogênicas a sotavento do grande vulcão marciano, o Olympus Mons. Cortesia da NASA.

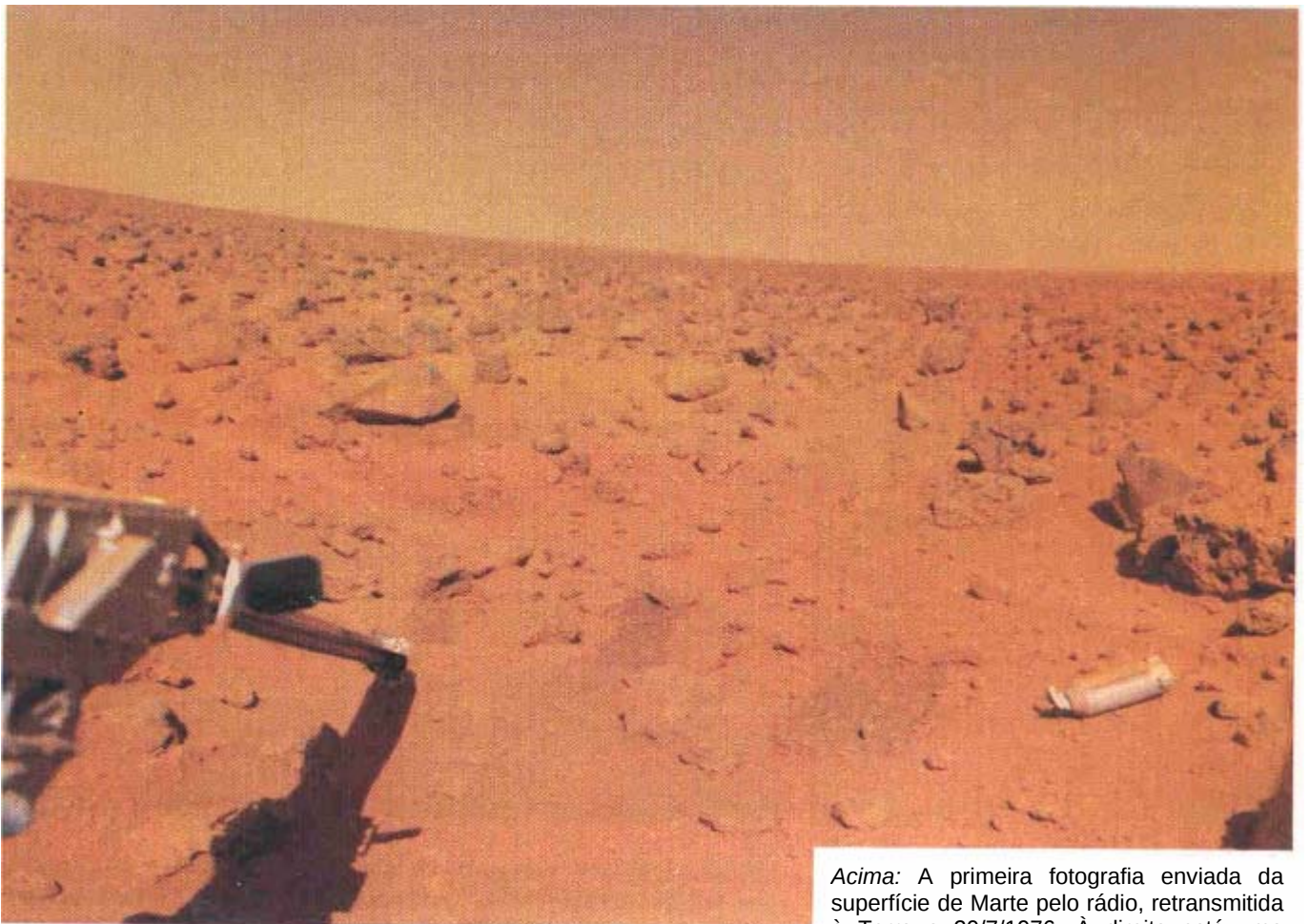
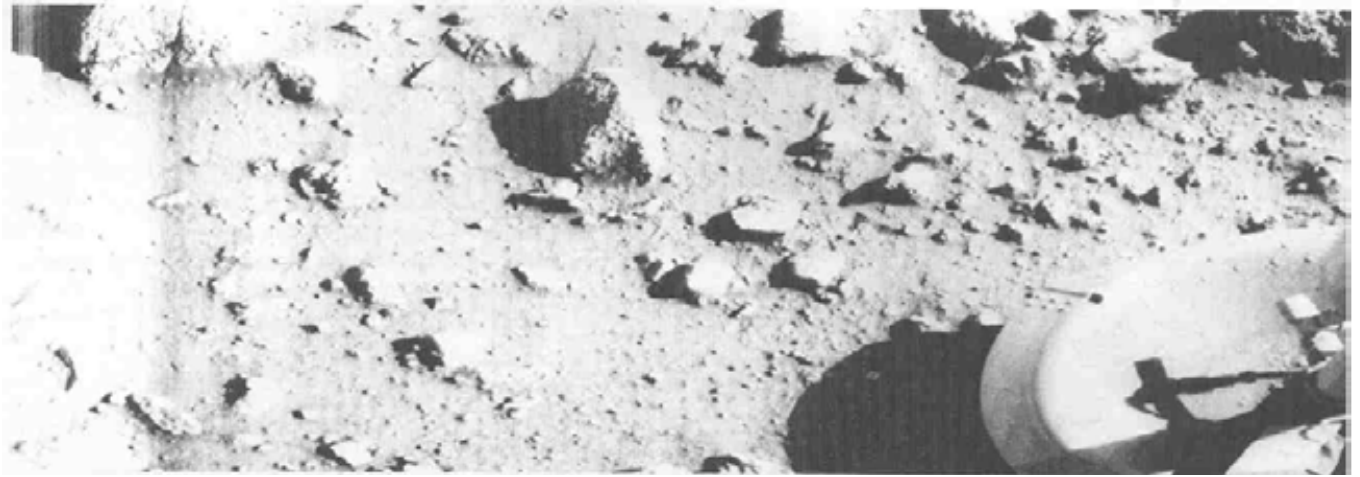
Uma missão deste tipo traria benefícios enormes, mesmo se não houver vida em Marte. Poderíamos vagar nos vales dos antigos rios, subir encostas de grandes montanhas vulcânicas, passear ao longo das estranhas formações nas calotas polares geladas ou revistar mais de perto as convidativas pirâmides de Marte. Seria palpável o interesse público em uma missão assim. A cada dia chegaria em nossas casas pela televisão uma nova série de imagens. Poderíamos traçar a rota, ponderar suas descobertas e sugerir novos destinos. A jornada seria longa e o rover obediente aos comandos do rádio da Terra. Haveria tempo suficiente para idéias novas serem incorporadas à missão. Um bilhão de pessoas poderia participar da exploração de um outro mundo.

A área da superfície de Marte é exatamente tão grande quanto a da Terra. Um reconhecimento completo nos ocuparia por séculos. Tempo virá em que Marte estará todo explorado, um tempo depois das naves-robôs terem-no mapeado do alto e os rovers vasculhado a superfície, um tempo em que as amostras já retornaram à Terra com segurança e seres humanos passearam nas areias de Marte. E então, o que faremos com Marte?

Há tantos exemplos de má utilização humana da Terra que basta lembrar o assunto para sentir calafrios. Se há vida em Marte, creio que não devemos *fazer* nada lá. Marte pertence então aos marcianos, mesmo se eles forem somente micróbios. A existência de uma biologia independente em um planeta próximo é um tesouro além dos nossos direitos, e a preservação daquela vida deve, acredito, exceder qualquer outra utilização de Marte. Contudo, suponho que o planeta não possua vida. Não é uma fonte plausível de matérias-primas, e o frete de Marte à Terra seria muito dispendioso por muitos séculos ainda. Seremos capazes de viver em Marte? Poderíamos torná-lo, de certo modo, habitável?

Certamente um mundo adorável, mas há, no nosso ponto de vista provinciano, muitos aspectos errados com Marte, principalmente a escassez de oxigênio, ausência de água em forma líquida e o alto fluxo de ultravioleta. (As temperaturas baixas não são um obstáculo insuperável, como demonstram as estações científicas durante todo o ano na Antártica.) Todos estes problemas poderiam ser resolvidos se pudéssemos fazer mais ar. A pressões atmosféricas mais altas, a água líquida seria possível. Com mais oxigênio poderíamos respirar a atmosfera e haveria ozônio para proteger a superfície da radiação ultravioleta solar. Os canais sinuosos, placas polares superpostas e outras evidências sugerem que Marte já possuiu uma atmosfera mais densa. É improvável que estes gases tenham escapado de Marte. Estão, portanto, em algum lugar do planeta. Alguns estão quimicamente combinados com as rochas da superfície, outros no gelo abaixo da superfície, mas a maioria deve estar nas atuais calotas polares de gelo.

Para vaporizar as calotas, teremos que aquecê-las. Talvez possamos cobri-las com um pó escuro, aquecendo-as pela maior absorção de luz solar, o oposto do que fazemos na Terra quando destruimos florestas e pastagens. Mas a área da superfície das calotas é muito grande. A poeira necessária requereria 1.200



Acima: A primeira fotografia enviada da superfície de Marte pelo rádio, retransmitida à Terra a 20/7/1976. À direita está uma parte da sonda de pouso 2 repousando em segurança na superfície. Outra parte da sonda foi descoberta, posteriormente, queimada na areia. A rocha vesicular no centro tem cerca de dez cms. de diâmetro. *Abaixo.* O panorama de Utopia, visto pela Viking 2. O braço de recolhimento de amostra está estendido à esquerda. Sua proteção metálica é o tubo ejetado no solo à direita. Nada que sugerisse um organismo vivo ou um artefato de inteligência foi descoberto em nenhum dos locais de pouso das Vikings.

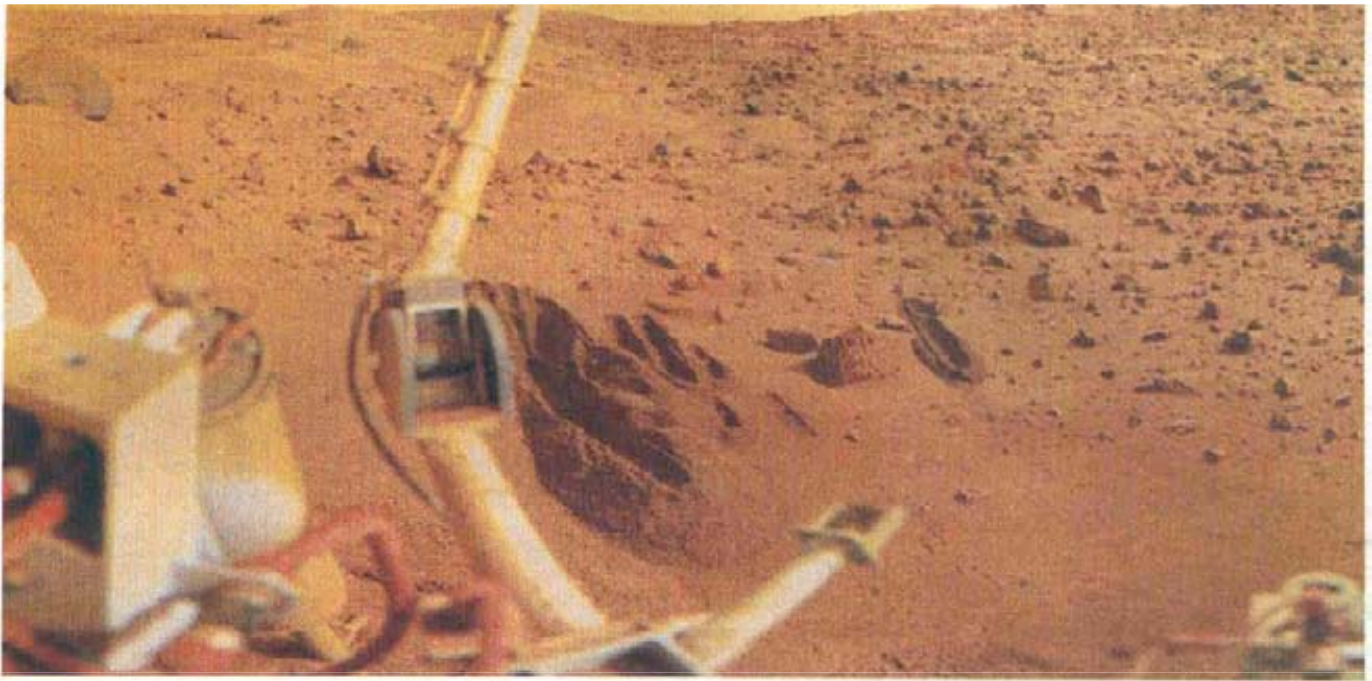
foguetes boosters Saturno 5 para ser transportada da Terra à Marte; mesmo assim, o vento poderia retirar a poeira das calotas. Um modo melhor seria inventar um material escuro capaz de se repor, uma pequena máquina de poeira que enviaríamos à Marte e que se reproduziria partindo de material nativo das calotas polares. Há um tipo destas máquinas. Nós a chama-mos de plantas. Algumas são muito resistentes e elásticas. Sabemos que, pelo menos, alguns micróbios terrestres conseguem sobreviver em Marte. O que se torna



Locais do Sistema Solar: À esquerda, em Chryse, Marte. À direita, acima, nas vertentes do Mauna Kea, Havaí. A direita, embaixo, em Utopia, Marte, com a geada cobrindo o solo. Marte e a Terra são mundos similares. Cortesia da NASA e de Richard Wells.

necessário é um programa de seleção artificial e engenharia genética de plantas escuras, talvez líquens, que possam sobreviver no meio ambiente muito mais severo. Se tais plantas puderem ser criadas, imaginamo-las sendo semeadas na vasta expansão das calotas geladas marcianas, lançando raízes, espalhando-se, escurecendo as calotas, absorvendo a luz solar, aquecendo o gelo e liberando a antiga atmosfera marciana de seu longo cativeiro. Podemos até imaginar um tipo marciano como Johnny Applesced, robô ou humano, vagando nas imensidões polares geladas em um esforço que beneficia somente as gerações de seres humanos que virão.

Este conceito geral é chamado de formação de ambiente: a alteração de um panorama alienígena em um outro mais apropriado para seres humanos. Por milhares de anos os seres humanos conduziram-se de modo a alterar a temperatura global da Terra em somente cerca de um grau através das alterações no efeito de estufa e no albedo, embora no ritmo atual de queima de combustível fóssil e destruição de florestas e pastagens possamos agora alterá-la em mais um grau em um século ou dois.



Estas e outras considerações sugerem que uma escala de tempo para uma formação de ambiente significativo de Marte seja provavelmente entre centenas e milhares de anos. Em um tempo futuro de tecnologia altamente avançada devemos ansiar não somente para aumentar a pressão atmosférica total e liqüefazer toda a água possível, mas também transportar a água das calotas polares derretidas para as regiões equatoriais mais quentes. Há, naturalmente, um meio de fazê-lo: podemos construir canais.

Escavando valas em Chryse à procura de vida em Marte (*acima*). Close-up da vala escavada entre os sulcos de areia formados pelo vento (*abaixo*). Em escala muito pequena, começamos a remanejar a superfície de outro mundo. Cortesia da NASA.

O gelo derretido da superfície e da camada abaixo poderia ser transportado por uma grande rede de canais. Isto é precisa-



Dois protótipos de futuros "rovers" de Marte, engenhosa máquina para impedir obstáculos construída no Rensselaer Polytechnic Institute, e um Viking Lander montado em um chassis de trator. Os andarilhos marcianos reais do futuro incluirão, provavelmente, elementos de ambos os projetos.

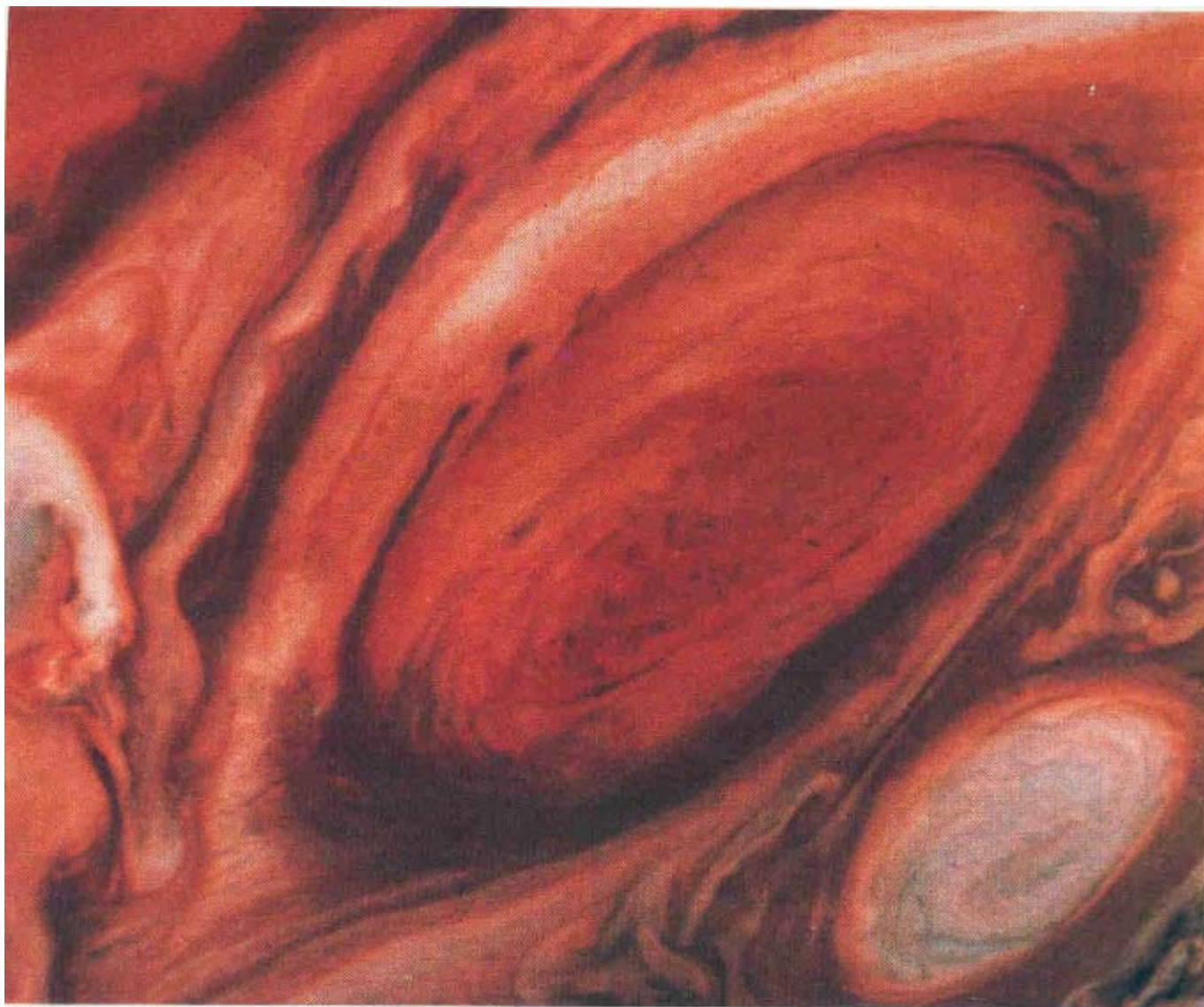
mente o que Percival Lowell, há menos de cem anos, erroneamente propôs que estava de fato acontecendo em Marte. Ambos, Lowell e Wallace entenderam que a inospitabilidade comparativa de Marte era decorrente da escassez de água. Se existisse somente uma rede de canais, a falta seria remediada, a habitabilidade de Marte seria plausível. As observações de Lowell foram feitas sob condições de visibilidade extremamente difíceis. Outros, como Schiaparelli, já tinham observado algo semelhante a canais; foram chamados de *canali* antes de Lowell ter iniciado o seu caso amoroso com Marte. Os seres humanos têm demonstrado um talento para a autodecepção quando suas emoções são despertadas, e

há poucas noções mais excitantes do que a idéia de um planeta vizinho habitado por seres inteligentes.

O poder da idéia de Lowell pode talvez tê-la tornado uma premonição. Sua rede de canais foi construída por marcianos. Talvez até isto possa ser uma profecia correta: se for formado um ambiente, será feito por seres humanos cuja residência permanente e afiliação planetária é Marte. Os marcianos sere-mos nós.



Areia e pequenas pedras depositadas pelo braço de recolhimento de amostras da Viking 2, na via de acesso do espectômetro de fluorescência de raio X (*fora de foco, no centro, embaixo*), invento destinado a determinar a química inorgânica do solo marciano. Canais de acesso próximos orientam as experiências no campo da química orgânica e da microbiologia. Cortesia da NASA.



A Grande Mancha Vermelha de Júpiter, gigantesco sistema de tempestades de 40.000 quilômetros de comprimento e 11.000 quilômetros de largura que se eleva acima das nuvens adjacentes. Foi observada pela primeira vez em 1664 por Robert Hooke e posteriormente confirmada por Christiaan Huygens. O material na Mancha Vermelha gira uma vez a cada seis dias terrenos; o oval branco, embaixo, à direita, gira no sentido oposto. No canto esquerdo superior vemos nuvens alcançando a Mancha Vermelha da direita para a esquerda. A razão pela qual a mancha é vermelha é desconhecida, bem como o porquê de haver somente uma Mancha Vermelha deste tamanho. Imagem da Voyager 2, cortesia da NASA.



Capítulo VI

HISTÓRIAS DE VIAJANTES

Existem muitos mundos ou haverá um só? Esta é uma das perguntas mais nobres e elevadas no estudo da Natureza.

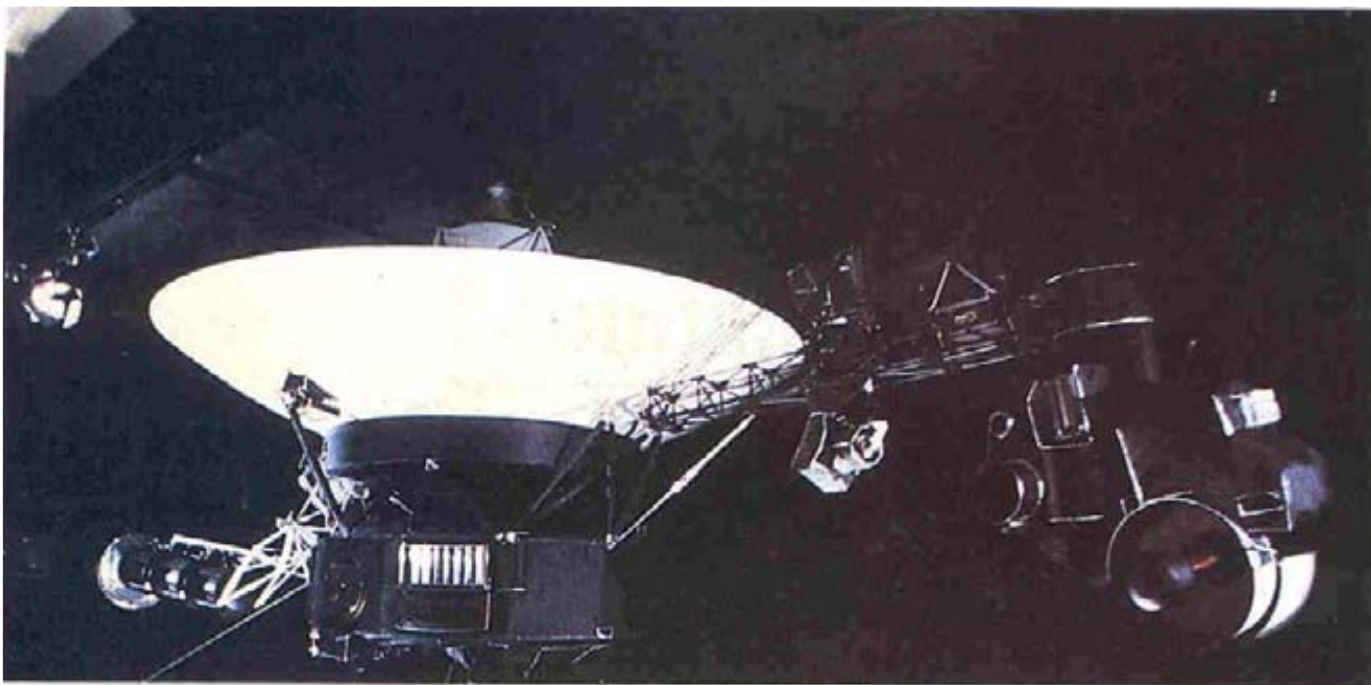
Albertus Magnus, século XIII

Nas primeiras épocas do mundo, os ilhéus julgavam-se os únicos habitantes da Terra, ou, se existiam outros, eles não concebiam de que maneira poderiam comercializar com eles sendo limitados pelo mar profundo e imenso; mas tempos depois inventaram os navios... Então talvez existiam outros meios inventados para o transporte à Lua... Não temos agora nenhum Drake ou Colombo para empreender esta viagem, ou um Dédalo para inventar um transporte através da atmosfera. Entretanto, não duvido de que o tempo, que ainda é o pai de novas verdades e que revelou para nós coisas que nossos ancestrais ignoravam, se manifestará na nossa posteridade, naquilo que desejamos agora, mas ainda não sabemos.

— John Wilkins — *A Descoberta de um Mundo na Lua*, 1638

Podemos nos elevar desta Terra insípida, vê-la do alto e considerar-mos se a Natureza deixou todas as suas despesas e luxo sobre este pequeno ponto de Sujeira. Então, como Viajantes em cidades distantes, será melhor julgarmos aquilo que é feito em casa, saber como fazer uma estimativa verdadeira e determinar o valor próprio de todas as coisas. Estaremos menos aptos para admirar aquilo que este Mundo chama de grande, desprezar nobremente as Frivolidades com que os homens em geral dedicam sua Afeição quando soubermos que há uma multiplicação de Terras habitadas e embelezá-las como a nossa.

— Christiaan Huygens, *Os Mundos Celestiais Descobertos*, c. 1690



A espaçonave Voyager em exibição no Jet Propulsion Laboratory. No engenho à esquerda estão os geradores de energia nuclear. Dentro do braço hexagonal eletrônico estão os computadores de bordo; o disco dourado no exterior é o Voyager Interstellar Record (Capítulo 11). No engenho à direita está a plataforma de controle na qual reconhecemos vários instrumentos, inclusive a câmera de alta precisão, embaixo, à direita. Cortesia da NASA.

ESTA É A ÉPOCA EM QUE OS SERES HUMANOS começaram a viajar na imensidão do espaço. As naves modernas que ocupam as trajetórias keplerianas dos planetas não são tripuladas. São belamente construídas, robôs semi-inteligentes explorando mundos desconhecidos. Viagens para o sistema solar exterior são controladas de um único local no planeta Terra, o Jet Propulsion Laboratory [Laboratório de Propulsão a Jato (sigla em inglês, JPL)], na Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço em Pasadena, Califórnia.

A 9 de julho de 1979, uma espaçonave chamada Voyager 2 chegou ao sistema de Júpiter. Levou quase dois anos viajando através do espaço interplanetário. A nave é feita de milhões de partes separadas perfeitamente unidas, de modo que se algum dos componentes falhar, os outros tomarão para si as responsabilidades. A espaçonave pesa 0,9 toneladas, e ocuparia um grande salão. Sua missão a leva tão distante do Sol que não pode ser carregada por energia solar, como as outras espaçonaves. A Voyager conta com uma pequena força motriz nuclear, aspirando centenas de watts da decomposição de uma pílula de plutônio. Seus três computadores integrados e a maioria das suas funções de manutenção — por exemplo, seu sistema de controle de temperatura — estão localizados no seu meio. Recebe comandos da Terra e transmite pelo rádio suas descobertas de volta à Terra através de uma grande antena de 3,7 metros de diâmetro. A maioria dos seus instrumentos científicos está em uma plataforma de exploração que segue a pista de Júpiter ou de qualquer uma de suas luas quando a espaçonave passa rapidamente por elas. Há muitos instrumentos científicos — espectrômetros ultravioleta e infravermelho, sensores para medir partículas carregadas e campos magnéticos, e a radioemissão de Júpiter, mas as mais produtivas têm sido as duas câmeras de televisão, projetadas para tirar dezenas de milhares de fotografias das ilhas planetárias no sistema solar exterior.

Júpiter é rodeado por uma cobertura de partículas muito carregadas invisíveis, porém extremamente perigosas. A espaçonave tem que atravessar o limite externo deste cinturão de radiação para poder examinar de perto o planeta e suas luas, e continuar sua missão em Saturno e além dele. As partículas carregadas podem danificar os delicados instrumentos e frigar os eletrônicos. Júpiter é também circundado por um anel de debris sólidos, descoberto quatro meses antes pela Voyager 1, e que a Voyager 2 teria que atravessar. Uma colisão com um pequeno seixo poderia ter feito a nave saltar loucamente, fora de controle, sua antena incapaz de contatar a Terra, e seus dados perdidos para sempre. Um pouco antes do Encontro, os controladores da missão estavam apreensivos. Houve alguns alarmes e emergências, mas a inteligência associada dos seres humanos na Terra e dos robôs no espaço suplantou o desastre.

Lançada a 20 de agosto de 1977, moveu-se em uma trajetória em arco depois de Marte, através do cinturão de asteróides, para aproximar-se do sistema de Júpiter e percorrer o caminho entre o planeta e suas quatorze ou mais luas. A passagem da Voyager por Júpiter acelerou-a em direção ao encontro de Saturno. A gravidade deste a impelirá para Urano. Após Urano, a Voyager mergulhará além de Netuno, deixando o sistema solar e tornando-se uma espaçonave interestelar, fadada a vagar para sempre no grande oceano entre as estrelas.

Estas viagens de exploração e descoberta são as últimas de uma longa série que caracterizou e distinguiu a história humana. Nos séculos XV e XVI podíamos viajar da Espanha aos Açores em poucos dias — o mesmo tempo necessário agora para ir da Terra à Lua. Levávamos, naquela época, alguns meses para atravessar o Oceano Atlântico e atingir o que era conhecido como o Novo Mundo, as Américas. Hoje levamos alguns meses para atravessar o oceano do sistema solar interior e realizar uma descida em Marte ou Vênus, que são, verdadeira e literalmente, novos mundos à nossa espera. Nos séculos XVII e XVIII podíamos viajar da Holanda à China em um ano ou dois, o tempo que a Voyager levou para ir da Terra a Júpiter.* O custo anual foi relativamente maior do que o atual, mas em ambos os casos menos de um por cento do que o Produto Nacional Bruto. Naves espaciais atuais, com sua tripulação de robôs, são os precursores, a vanguarda das futuras expedições humanas aos planetas. Já teremos trilhado o caminho antes.

A época entre os séculos XV e XVII representa um ponto decisivo, importante, em nossa história. Ficou claro que poderíamos nos aventurar em todas as partes do planeta. Embarcações à vela, valentes e intrépidas, de meia dúzia de nações européias dispersaram-se nos oceanos. Havia muita motivação para estas viagens: ambição, avidez, orgulho nacional, fanatismo religioso, degradação, curiosidade científica, sede de aventura e a inutilidade



Sala de Controle no Jet Propulsion Laboratory, NASA.

*Ou, utilizando uma comparação diferente, um ovo fertilizado leva, para descer da trompa de Falópio e implantar-se no útero, o mesmo tempo que a Apoio 11 levou em sua viagem à Lua; para desenvolver-se em um bebê, a termo, o tempo que a Viking levou em sua viagem à Marte. O tempo de duração da vida humana normal é maior do que o requerido pela Voyager para aventurar-se além da órbita de Plutão.

Bacia de Middelburg, Holanda, no início do século XVII. Pintura de Adriaen van de Venne. Cortesia de Rijksmuseum, Amsterdã.

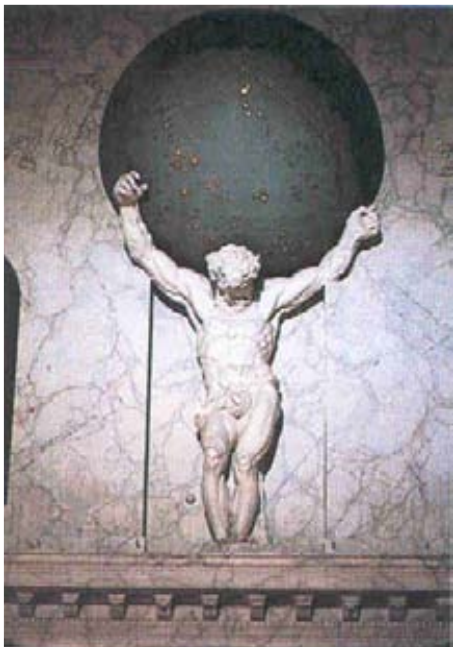


de empreendimentos apropriados em Estremadura. Trabalhavam tanto pelo mal quanto pelo bem, mas o resultado final foi unir a Terra, diminuir o provincialismo, unificar as espécies humanas e ampliar poderosamente nosso conhecimento sobre o planeta e sobre nós mesmos.

Símbolo da época da exploração e descobertas dos barcos à vela é a revolucionária República Holandesa do século XVII. Tendo recentemente declarado sua independência do poderoso império espanhol, aceitou com mais ardor que qualquer outra nação da época o Esclarecimento Europeu. Era uma sociedade racional, organizada e criativa. Mas por estarem fechados o comércio e os portos espanhóis à navegação holandesa, a sobrevivência econômica da diminuta república dependeu da sua habilidade para formar homens e desdobrar uma grande frota de veleiros comerciais.

A Companhia Holandesa das Índias Orientais, uma empresa estatal e privada, enviou navios aos cantos do mundo para adquirir mercadorias raras e revendê-las com lucro à Europa. Estas viagens eram o sangue para a vida da República. Cartas e mapas de navegação eram classificados como segredo de estado. Os navios embarcavam, com frequência, com ordens seladas. O Mar de Barents, no Oceano Ártico, e a Tasmânia, na Austrália, receberam nomes de capitães holandeses. As expedições não eram meramente explorações comerciais, embora isto existisse em grande escala, mas também elementos poderosos de aventura científica e deleite pela descoberta de novas terras, plantas, animais e povos: a busca de conhecimento para a própria segurança.

A Câmara Municipal de Amsterdã reflete a auto-imagem secular e confiante da Holanda do século XVII. Foi construída com mármore trazido pelos navios. Constantijn Huygens, poeta e diplomata da época, observou que a Câmara Municipal dissipou "o estrabismo e a sordidez góticos". Até hoje há, em seu saguão, uma estátua de Atlas sustentando os céus enfeitados de constelações. Abaixo está a Justiça, brandindo uma balança e uma espada de ouro, entre a Morte e a Punição, e pisando a



Atlas, sustentando os céus estrelados. Escultura que se encontra no Edifício da Câmara Municipal de Amsterdã.

Avareza e a Inveja, deusas do comércio. Os holandeses, cuja economia era baseada no lucro privativo, mesmo assim compreenderam que a busca desenfreada do lucro colocava em risco a alma da nação.

Um símbolo menos alegórico pode ser encontrado embaixo de Atlas e a Justiça, no piso da Câmara Municipal. É um grande mapa embutido, datando do final do século XVII ou princípio do XVIII, mostrando do oeste da África ao Oceano Pacífico. O mundo inteiro era a arena da Holanda. E, neste mapa, com uma modéstia desarmante os holandeses se omitiram, utilizando somente o antigo nome latino Belgium na sua parte da Europa.

Era um ano típico, muitos navios saíam com destino ao mundo inteiro. Descendo a costa oeste da África, através o que chamavam de Mar Etíope, iam até o sul, passavam pelo Estreito de Madagascar e atingiam a extremidade sul da Índia, e dali iam a um dos principais focos de seu interesse, as Ilhas Spice, hoje Indonésia. Algumas expedições partiam dali para uma terra chamada Nova Holanda, hoje Austrália. Poucos se aventuraram pelo Estreito de Málaga, passando pelas Filipinas em direção à China. Sabemos de um relato datado da metade do século XVII, de uma "Embaixada da Companhia das Índias Orientais das Províncias Unidas dos Países Baixos, para o Grande Tártaro, Cham, Imperador da China". Os burgueses, embaixadores e capitães holandeses ficavam de olhos arregalados de espanto face à civilização na cidade imperial de Pequim.*

Até então a Holanda jamais tinha possuído tal poder mundial. Um país pequeno, forçado a viver do seu talento, sua política externa encerrou um forte elemento pacificador. Pela sua tolerância com as opiniões heterodoxas, era um paraíso para os intelectuais que se refugiavam da censura e controle do pensamento existentes em toda a Europa — quase como os Estados Unidos que se beneficiaram enormemente na década de 1930 com o êxodo de intelectuais que fugiam da Europa dominada pelo nazismo. A Holanda do século XVII foi o lar do grande filósofo judeu Spinoza que Einstein admirava; de Descartes, um elemento-chave na história da matemática e da filosofia, e de John Locke, cientista político que influenciou um grupo de revolucionários de inclinações filosóficas chamados Paine, Hamilton, Adams, Franklin e Jefferson. Nunca antes a Holanda tinha sido agraciada por uma galáxia de artistas e cientistas, filósofos e matemáticos. Foi a época dos mestres da pintura Rembrandt, Vermeer e Frans Hals; de Leeuwenhoek, o inventor do microscópio; de Grotius, o fundador do direito internacional; de Willebrord Snellius, que descobriu a lei da refração da luz.

Seguindo a tradição holandesa de estimular a liberdade de pensamento, a Universidade de Leiden ofereceu a cadeira de professor a um cientista italiano chamado Galileo, que tinha sido forçado pela igreja católica, sob tortura, a renegar sua visão



Galileo Galilei (1564-1642). Nesta pintura de Jean-Leon Huens, Galileo se encontra tentando convencer eclesiásticos céticos de que havia montanhas na Lua e que o planeta Júpiter possuía várias luas. A hierarquia católica permaneceu descrente. Em 1633 Galileo foi obrigado a suportar um julgamento por "violenta suspeita de heresia". Condenado por uma evidência de um documento forjado, Galileo passou os últimos oito anos de sua vida sob prisão domiciliar, em sua pequena casa nos arredores de Florença. Foi o primeiro a utilizar um telescópio para estudar os céus. Pintura de Jean-Leon Huens, ©National Geographic Society.

* Sabemos até os presentes que trouxeram para a corte. A imperatriz foi agraciada com "seis pequenas arcas de diversas pinturas", e o imperador recebeu "dois fardos de canela".

herética de que a Terra se movia em torno do Sol e não vice-versa.* Galileo tinha ligações profundas com a Holanda, e seu primeiro telescópio astronômico foi um aperfeiçoamento, de um óculo para ver de longe, de um projeto holandês. Com ele, Galileo descobriu as manchas solares, as fases de Vênus, as crateras da Lua e as quatro grandes luas de Júpiter chamadas agora de satélites galileanos. A descrição do próprio Galileo da sua agonia eclesiástica está contida em uma carta que escreveu em 1615 à grã-duquesa Christina:

Alguns anos atrás, como Sua Alteza bem sabe, descobri nos céus muitas coisas que não tinham sido vistas antes de nós. A novidade destas coisas, bem como as conseqüências que se seguiram em contradição com as noções físicas comumente sustentadas entre filósofos acadêmicos, incitaram contra mim um número não pequeno de professores [muitos deles eclesiásticos] como se eu tivesse colocado estas coisas no céu com as minhas próprias mãos para alterar a Natureza e destruir as ciências. Parecem esquecer que o crescimento das verdades conhecidas estimula a investigação, estabelecimento e crescimento das artes.**

A conexão entre a Holanda como poder exploratório e a Holanda como centro intelectual e cultural era muito forte. O desenvolvimento dos veleiros encorajou a tecnologia de todas as áreas. O povo gostou de trabalhar com as mãos. As invenções eram premiadas. O avanço tecnológico requereu uma busca de conhecimento a mais liberta possível, de modo que a Holanda tornou-se o principal editor e vendedor de livros na Europa, traduzindo trabalhos escritos em outras línguas e permitindo a publicação de livros proibidos em outros países. Aventuras em terras exóticas e encontros com sociedades estranhas agitaram a complacência, desafiaram os pensadores a reconsiderar o conceito dominante e mostrou que as idéias que tinham sido aceitas por milhares de anos, por exemplo em geografia, estavam fundamentalmente erradas. Em uma época em que reis e imperadores dominavam a maior parte do mundo, a república holandesa era governada, mais do que qualquer outra nação, pelo povo. A abertura da sociedade e seu encorajamento do desper-

*Em 1979 o papa João Paulo II cautelosamente propôs a inversão da condenação de Galileo, executada 346 anos antes, pela "Santa Inquisição".

**A coragem de Galileo (e Kepler) em propor a hipótese heliocêntrica não era evidente nos atos dos outros, mesmo naqueles que residiam em locais menos fanáticos no tocante à doutrina na Europa. Por exemplo, em uma carta datada de abril de 1634, René Descartes, então vivendo na Holanda, escreveu:

Sem dúvida, você sabe que Galileo foi recentemente censurado pelos Inquisidores da Fé, e, que seus conceitos sobre o movimento da Terra foram condenados como heréticos. Devo dizer-lhe que todas as coisas que expliquei no meu tratado, que incluíram a doutrina do movimento da Terra, eram tão interdependentes que é suficiente descobrir-se que uma delas é falsa para saber que todos os argumentos utilizados são errôneos. Embora pensasse estarem baseados em provas seguras e evidentes, não desejo, por nada deste mundo, mantê-los contra a autoridade da Igreja... Desejo viver em paz e continuar a vida que iniciei sob a máxima: para viver bem, deve-se viver despercebido.

tar da mente para ser usada e a autorização para exploração e utilização dos mundos novos geraram uma confiança sadia no empreendimento humano.*

Na Itália, Galileu tinha anunciado outros mundos, e Giordano Bruno especulava sobre outras formas de vida. Por isto sofreram brutalmente. Na Holanda, o astrônomo Christiaan Huygens, que acreditava em ambos, fora coberto de honrarias. Seu pai era Constantijn Huygens, um grande diplomata da época, um literato, poeta, compositor, músico, amigo íntimo e tradutor do poeta inglês John Donne, e o chefe de uma grande família-modelo. Constantijn admirava o pintor Rubens e "descobriu" um jovem artista chamado Rembrandt van Rijn, em cujos trabalhos apareceu várias vezes depois. De Constantijn, Descartes escreveu após o primeiro encontro: "Não posso acreditar que uma única mente consiga ocupar-se com tantos assuntos e conseguir sair-se tão bem de todos". A casa de Huygens era repleta de peças de todas as partes do mundo. Pensadores ilustres de outras nações eram convidados freqüentes. Crescendo neste ambiente, Christiaan Huygens tornou-se simultaneamente perito em línguas, desenho, direito, ciência, matemática e música. Seus interesses e dedicação eram vastos. "O mundo é o meu país", disse ele, "a ciência, a minha religião".

A luz era o assunto da época, o esclarecimento simbólico da liberdade de pensamento e de religião, da descoberta geográfica; a luz que penetrava nas pinturas da época, particularmente no trabalho primoroso de Vermeer; a luz como um objeto de pesquisa científica, como no estudo de refração de Snell, a invenção do microscópio por Leeuwenhoek e a própria teoria de Huygens sobre a luz em ondas.** Todas eram atividades afins, e seus aficcionados misturavam-se livremente. Os interiores de Vermeer são caracteristicamente repletos de artefatos e mapas náuticos.

*Esta tradição exploratória pode justificar o fato da Holanda possuir, até os dias de hoje, a maior proporção de astrônomos famosos, entre eles Gerard Peter Kuiper que, entre as décadas de 40 e 50, era o único astrofísico de tempo integral no mundo. O assunto era então considerado por astrônomos profissionais, tidos no mínimo, como corrompidos pelos excessos lowellianos, Sou grato por ter sido aluno de Kuiper.

**Isaac Newton admirou o trabalho de Christiaan Huygens e o tinha "como o matemático mais distinto" da sua época e o verdadeiro seguidor da tradição matemática dos antigos gregos, então, como agora, um grande elogio. Newton acreditou, em parte, porque as sombras possuem bordos cortantes, que a luz se comportava como se fosse um fluxo de partículas diminutas. Pensou que a luz vermelha era composta pelas partículas maiores e a violeta pelas menores. Huygens argumentou, por sua vez, que a luz se comportava como se fosse uma propagação de ondas no vácuo, como as ondas de um oceano, sendo este o motivo de falarmos sobre comprimento de onda e freqüência da luz. Muitas propriedades da luz, incluindo a difração, são explicadas naturalmente pela teoria de onda, e nos anos subseqüentes a idéia de Huygens se firmou. Mas em 1905, Einstein demonstrou que a teoria de partícula da luz podia explicar o efeito fotoelétrico, a ejeção de elétrons de um metal sob exposição de um raio de luz. Os mecanismos quantum modernos combinam ambas as idéias, sendo comum pensar-se hoje em dia na luz comportando-se em algumas circunstâncias como um feixe de partícula e em outras como onda. Este dualismo onda-partícula pode não corresponder às nossas noções de bom-senso, mas está em excelente acordo com aquilo que as experiências mostraram ser a luz realmente. Há algo de misterioso e assustador nesta união de opostos, e se ajusta à idéia que Newton e Huygens, ambos celibatários, sejam os pais de nossa atual compreensão da natureza da luz.



Retrato de Christiaan Huygens (1629-1695), por Bernard Vaillant. Cortesia de Huygensmuseum "Hofwijck", Voorburg, Holanda.



Detalhe de um caderno de notas de Christiaan Huygens, registrando suas observações de espermatozoides dos líquidos seminais de um cão (à esquerda) e de um homem, feitas com um dos microscópios de Leeuwenhoek.

Os microscópios eram curiosidades da sala de desenho. Leeuwenhoek foi o testamento das propriedades de Vermeer e um visitante assíduo da casa de Huygens em Hofwijck.

O microscópio de Leeuwenhoek evoluiu do óculo de aumento utilizado pelos negociantes de pano para examinar a qualidade do tecido. Com o instrumento, Leeuwenhoek descobriu um universo em uma gota d'água: os micróbios, que descreveu como "animálculos" e pensou serem "inteligentes". Huygens participou do projeto dos primeiros microscópios, e ele próprio fez muitas descobertas com o instrumento. Leeuwenhoek e Huygens foram dos primeiros a ver uma célula de espermatozóide humano, um pré-requisito para a compreensão humana. Para explicar como os microrganismos se desenvolvem lentamente em água previamente esterilizada por fervura, Huygens propôs serem eles pequenos o suficiente para flutuar no ar e se reproduzirem aos poucos na água. Estabeleceu deste modo uma alternativa para a geração espontânea, a noção de que a vida poderia surgir na fermentação do suco de uva ou na carne putrefata, inteiramente independente da vida preexistente. Só na época de Louis Pasteur, dois séculos mais tarde, que a especulação de Huygens provou ser correta. A procura pela Viking da vida em Marte pode ser identificada em mais de um aspecto com o trabalho de Leeuwenhoek e Huygens. Eles são também os avós da teoria da doença contida em germes e, deste modo, de grande parte da medicina moderna. Não tinham propósitos práticos em mente, pois eram meramente pensadores em uma sociedade tecnológica.

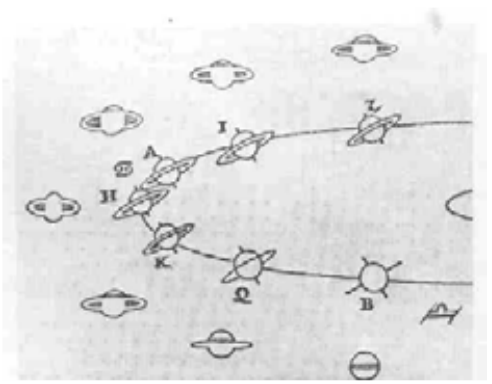
O microscópio e o telescópio, ambos desenvolvidos no início do século XVII na Holanda, representam uma extensão da visão humana aos domínios do muito pequeno e muito grande. Nossas observações de átomos e galáxias foram lançadas naquela época e naquele local. Christiaan Huygens adorava esmerilhar e polir lentes para telescópios astronômicos, e construiu um com cinco metros de comprimento. Suas descobertas com o telescópio asseguraram o seu lugar na história do conhecimento humano. Nas pegadas de Eratóstenes, ele foi a primeira pessoa a medir o tamanho de outro planeta. Foi também o primeiro a especular que Vênus era inteiramente coberto por nuvens, o primeiro a traçar uma característica de superfície de Marte (uma vasta colina escura varrida pelo vento chamado Syrtis Major); e observando o aparecimento e desaparecimento destas características à medida que o planeta girava, o primeiro a determinar que o dia marciano, como o nosso, durava aproximadamente vinte e quatro horas. Foi o primeiro a reconhecer que Saturno era rodeado por um sistema de anéis que não o tocavam em parte alguma.* E descobriu Titã, a maior lua de Saturno, e que agora sabemos ser a maior lua do sistema solar, um mundo de interesses e promessas extraordinárias. A maioria destas descobertas ele fez aos vinte e poucos anos. Também tinha a astrologia como uma insensatez.

*Galileu descobriu os anéis, mas não sabia o que fazer com eles. Através do seu telescópio primitivo, pareciam ser duas projeções simetricamente presas a Saturno, lembrando, disse ele frustrado, orelhas.

Huygens fez ainda mais. O principal problema da navegação marítima naquela época era a determinação da longitude. A latitude era facilmente achada pelas estrelas, quanto mais ao sul estivessem, mais constelações austrais seriam visíveis. Mas a longitude requeria anotações precisas de tempo. Um relógio de bordo perfeito daria a hora em seu porto de origem; o nascer e o pôr-do-sol e das estrelas especificaria a hora local a bordo, e a diferença entre as duas seria a longitude. Huygens inventou o relógio de pêndulo (seu princípio tinha sido descoberto anteriormente por Galileo), que foi então aperfeiçoado, embora não inteiramente bem-sucedido, para calcular a posição no meio do grande oceano. Seus esforços introduziram uma precisão sem precedentes nas observações astronômicas e em outros campos científicos, e estimularam outros aperfeiçoamentos em relógios náuticos. Inventou a mola da balança em espiral, utilizada ainda hoje em alguns relógios; forneceu contribuições fundamentais para a mecânica, p.ex. o cálculo da força centrífuga e, partindo de uma pesquisa sobre o jogo de dados, chegou à teoria da probabilidade. Aperfeiçoou a bomba a ar, que revolucionou posteriormente a indústria da mineração, e a "lanterna mágica", o antepassado do projetor de *slides*. Também inventou algo chamado "máquina de pólvora", que influenciou o desenvolvimento de outra máquina, a de vapor.

Huygens estava encantado com o fato da opinião copernicana, da Terra como um planeta que gira em torno do Sol, ser amplamente aceita, mesmo pelo povo da Holanda. Realmente, disse ele, Copérnico foi reconhecido por todos os astrônomos, exceto por aqueles que "eram um pouco sem talento ou estavam sob superstições impostas pela autoridade meramente humana". Na Idade Média os filósofos cristãos gostavam de argumentar que já que os céus giravam em torno da Terra uma vez a cada dia, dificilmente seriam infinitos e, portanto, um número infinito de mundos ou um grande número deles (ou até um outro) era impossível. A descoberta de que era a Terra quem girava e não o Sol encerrava implicações importantes para a unidade dela e para a possibilidade de vida em outros lugares. Copérnico sustentava que não somente o sistema solar, mas também o universo inteiro era heliocêntrico, e Kepler negava que as estrelas possuísem sistemas planetários. A primeira pessoa a tornar explícita a idéia de um grande, talvez até infinito, número de outros mundos em órbita em torno de outros sóis parece ter sido Giordano Bruno. Outros pensavam que a pluralidade de mundos era consequência das idéias de Copérnico e Kepler, e ficaram horrorizados. No início do século XVIII, Robert Merton contestava que a hipótese heliocêntrica implicava em uma multidão de outros sistemas planetários, sendo este um argumento do tipo chamado *reductio ad absurdum* (Apêndice 1), demonstrando o erro da suposição inicial. Escreveu um argumento que pode ter soado como inconsistente,

Pois se o firmamento tiver a grandeza incomparável, como a têm os gigantes de Copérnico... tão vasto e repleto de incontáveis estrelas, como se fossem infinitas em quantidade... por que não podemos supor... que estas estrelas



Detalhe do *Systema Saturnium*, de Christiaan Huygens, publicado em 1659. Mostra sua explicação (correta) para as mudanças na aparência dos anéis de Saturno no decorrer dos anos, de acordo com a geometria relativa das alterações da Terra e de Saturno. Na posição B, os anéis, com a espessura de uma folha de papel, desaparecem quando vistos de perfil. Na posição A exibem sua extensão máxima visível da Terra, configuração que provocou em Galileo, que se utilizava de um telescópio significativamente inferior, uma profunda aflição e abatimento.

infinitas visíveis no firmamento sejam tantos sóis, com centros particulares fixos; que tenham também seus planetas subordinados, como o Sol possui seus dançarinos à sua volta? E então, como consequência, há uma infinidade de mundos habitáveis; o que impede?... estas e outras tentativas insolentes e intrépidas, paradoxos prodigiosos, as inferências devem prosseguir... se foram uma vez admiradas por... Kepler... e outros que sustentam o movimento da Terra.

Mas a Terra se move. Merton, se vivesse hoje, seria obrigado a concluir por uma "infinidade de mundos habitáveis". Huygens não colocou restrições a esta conclusão, mas aceitou-a com satisfação: no mar do espaço as estrelas são outros sóis. Por analogia com o nosso sistema solar, Huygens concluiu que estas estrelas deveriam ter seus próprios sistemas planetários e que muitos desses planetas seriam habitados. Não devemos atribuir nada a estes planetas a não ser um vasto deserto... e suprimir deles todas as criaturas que simplesmente mostram a arquitetura divina; deveremos rebaixá-las em beleza e dignidade em relação à Terra? Não é razoável."*

Estas idéias aparecem em um livro extraordinário que ostentava o título triunfante de *Os Mundos Descobertos: Conjecturas Concernentes aos Habitantes, Plantas e Produções dos Mundos nos Planetas*. Escrito pouco antes da morte de Huygens em 1690, o trabalho foi admirado por muitos, incluindo o czar Pedro, o Grande, que o transformou no primeiro produto de ciência ocidental a ser publicado na Rússia. O livro é, em grande parte, sobre a natureza ou ambiente dos planetas. Entre as figuras na primeira edição, primorosamente composta, estão, em escala, o Sol e os planetas gigantes Júpiter e Saturno. São comparativamente bem menores. Há também uma gravura de Saturno próximo à Terra: o nosso planeta é um círculo pequeno.

De um modo geral, Huygens imaginou os habitantes e os meios ambientes de outros planetas um tanto semelhantes à Terra no século XVII. Concebeu os "planetarianos" como "corpos inteiriços, e cada parte deles bem distinta e diferente das nossas... é uma opinião muito ridícula... pois é impossível uma Alma racional habitar outra forma que não a nossa". Você pode ser esperto, dizia ele, mesmo se parecer diferente. Mas então argumentava que não pareciam tão diferentes, que deveriam ter mãos e pés, e andar eretos, que teriam escrita e geometria, e que Júpiter possui quatro satélites galileanos como auxílio à navegação, aos marinheiros, nos oceanos jovianos. Huygens era, naturalmente, um cidadão da sua época. Quem de nós não o é? Dizia que a ciência era a sua religião e então argumentava que os planetas deveriam ser habitados, porque senão Deus teria feito outros mundos para nada. Por ter vivido antes de Darwin, suas especulações sobre a vida extraterrestre estão fora da

*Alguns outros sustentavam opiniões similares. No seu *Harmonice Mundi*, Kepler assinalou que "foi a opinião de Tycho dizendo que não há aridez e solidão nos globos, pois são habitados".

perspectiva evolucionária. Era capaz de desenvolver em etapas observacionais algo semelhante à perspectiva cósmica moderna:

Que esquema maravilhoso e estupendo temos aqui da magnífica vastidão do universo... Tantos Sóis, tantas Terras... e cada uma delas contendo tantas ervas, árvores e animais, adornados com tantos Mares e Montanhas... E quanto crescerá nossa Vontade e Admiração quando considerarmos a prodigiosa Distância e a Multidão de Estrelas.

As espaçonaves Voyager são os descendentes lineares destas viagens de exploração em veleiros, e da tradição especulativa e científica de Christiaan Huygens. As voyagers são caravelas cercadas de estrelas explorando os mundos que Huygens conheceu e amou tanto.

Um dos principais aspectos que permaneceram destas viagens de séculos atrás foram as histórias* dos viajantes, narrativas de terras alienígenas e criaturas exóticas que evocavam nosso sentido de curiosidade e estimulavam a exploração futura. Havia relatos de montanhas que atingiam o céu, de dragões e monstros marinhos, de utensílios de uso diário feitos de ouro, de um animal com um braço no lugar do nariz, de povos que achavam bobagem as disputas das doutrinas entre protestantes, católicos, judeus e muçulmanos, de uma pedra preta que queimava, de seres humanos sem cabeça, com a boca no peito, de carneiros que davam em árvores. Algumas histórias eram mentiras, outras verdadeiras. Outras possuíam um núcleo de verdade, distorcido ou exagerado pelos exploradores ou pelos narradores. Nas mãos de Voltaire, por exemplo, ou Jonathan Swift, estes relatos estimulavam uma nova perspectiva na sociedade européia, forçando uma reformulação daquele mundo insular.

As modernas Voyagers também enviam histórias de viajantes, relatos de um mundo fragmentado como uma esfera de cristal, um globo onde o chão é coberto, de pólo a pólo, com o que parece uma teia de aranha, de pequenas luas com forma de batatas, um mundo com um oceano no subsolo, uma terra que cheira a ovo podre e parece uma pizza, com lagos de enxofre derretido e erupções vulcânicas ejetando fumaça diretamente no espaço, um planeta chamado Júpiter que faz o nosso parecer um anão, tão grande que cabem dentro dele 1.000 Terras.

Os satélites galileanos de Júpiter são, cada um, tão grandes quanto Mercúrio. Podemos medir seus tamanhos e suas massas, e assim calcular as suas densidades, o que nos diz alguma coisa a respeito da composição de seus interiores. Descobrimos que os dois mais internos, Io e Europa, têm uma densidade tão grande



Uma girafa, levada da África para a China por volta de 1420, no início das grandes viagens de comércio e descobrimento do admirável Cheng Ho, da dinastia Ming. A presença deste animal das fábulas na corte imperial chinesa foi considerada como um sinal auspicioso. As primeiras histórias dos navegantes sobre a girafa talvez tenham sido saudadas com um ceticismo considerável. A época Ming de exploração, em embarcações de junco pelos oceanos — que quase certamente incluíram ultrapassar o Cabo da Boa Esperança, e o aparecimento da marinha chinesa no Oceano Atlântico — terminou um pouco antes da chegada portuguesa ao Oceano Índico, revertendo a direção dos descobrimentos. Shen Tu: *Tributo à Girafa com Tratador*. Cortesia do Philadelphia Museum of Art. Doação de John T. Dorrance.

*Estas histórias foram a tradição humana antiga; muitas delas tiveram, desde o início da exploração, um motivo cósmico. Por exemplo, as explorações do século XV da Indonésia, Sri Lanka, Índia, Arábia e África pela dinastia chinesa Ming foram descritas por Fei Hsin, um dos participantes, em um livro de gravuras preparado para o imperador como "As Visões Triunfantes da Balsa Estrelada". Infelizmente, as gravuras, não o texto, foram perdidas.

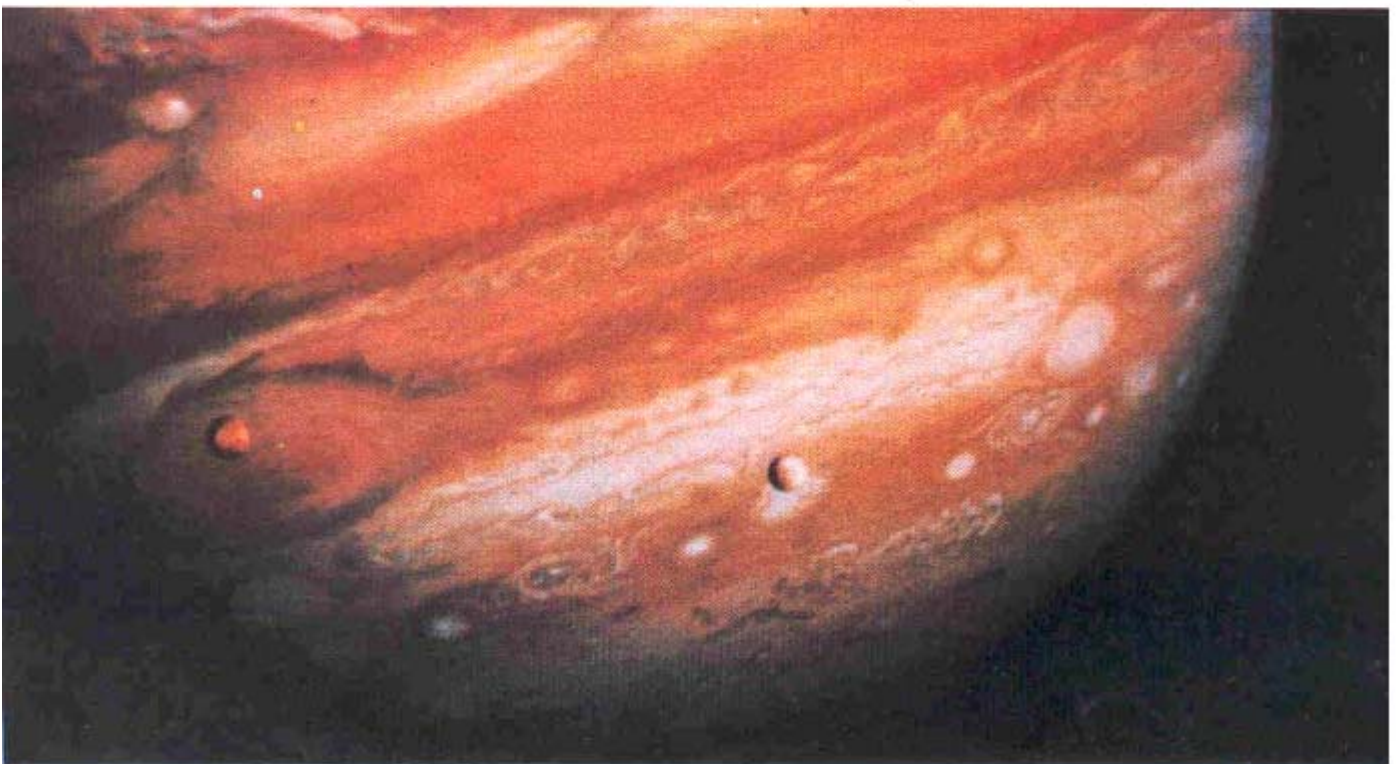
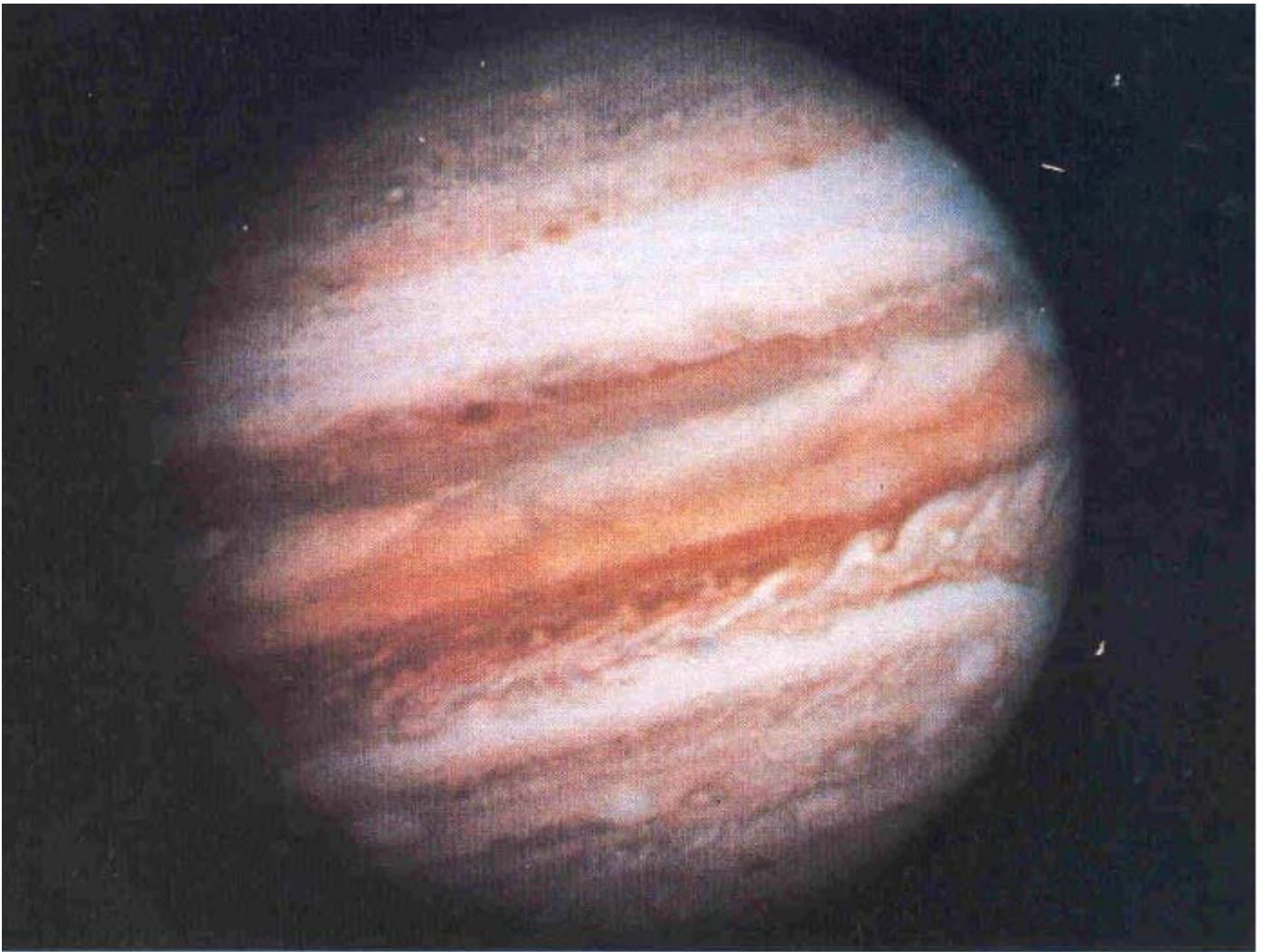
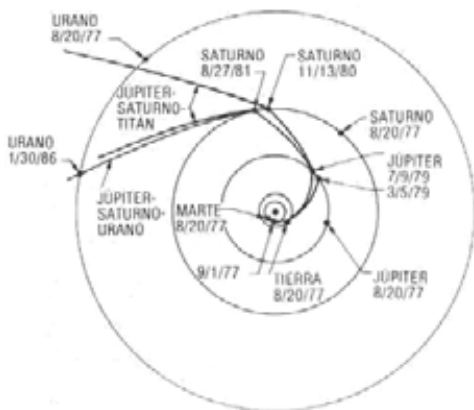


Imagem distante de Júpiter, enviada a Voyager 1 (*acima*) a uma distância de 28 milhões de quilômetros. *Abaixo*: a Voyager se aproxima de Júpiter, com as luas Io e Calisto em primeiro plano. Cortesia da NASA.

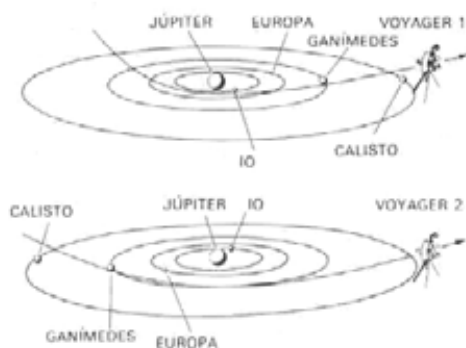
quanto a rocha. Os dois mais externos, Ganimedes e Calisto, possuem uma densidade menor, entre a da rocha e a do gelo. Mas a mistura de gelo e rochas nestas luas externas deve conter, assim como as rochas na Terra, traços de minerais radioativos, que aquecem as áreas vizinhas. Não há um caminho eficaz para este calor, acumulado por bilhões de anos, atingir a superfície e se perder no espaço, e a radioatividade interna de Ganimedes e Calisto deve, portanto, derreter seus interiores gelados. Antecipamos, como sugestão, oceanos submersos de neve derretida e água nestas luas, antes mesmo de termos visto de perto as superfícies dos satélites galileanos, que deviam ser bem diferentes uma da outra. Quando pudemos fazê-lo, através dos olhos da Voyager, esta previsão foi confirmada. Não se parecem um com o outro. São muito diferentes dos outros mundos vistos antes.

A espaçonave Voyager 2 nunca retornará à Terra, mas suas descobertas científicas, seus dados épicos, suas histórias de viajantes retornarão. Por exemplo, 9 de julho de 1979. Às 8.04 da manhã, hora-padrão da costa do Pacífico, EEUU, recebemos na Terra as primeiras fotos de um mundo novo, chamado Europa. Como uma foto do sistema solar exterior chega até nós? A luz do Sol brilha em Europa em sua órbita em torno de Júpiter sendo refletida no espaço, onde parte dela atinge os sensores das câmeras de televisão da Voyager, gerando uma imagem que é então montada pelos computadores, enviada pelo rádio através da distância imensa de meio bilhão de quilômetros para um radiotelescópio, uma estação de solo na Terra. Há uma na Espanha, uma no deserto de Mojave no sul da Califórnia e uma na Austrália. (Naquela manhã de julho de 1979 foi a da Austrália que estava voltada em direção a Júpiter e Europa). A informação é passada via satélite em órbita da Terra para a Califórnia, onde é transmitida por uma série de torres de retransmissão de microondas para um computador no Laboratório de Propulsão a Jato, onde é processada. A foto se parece muito com uma telefoto de jornal, feita talvez de um milhão de pontos separados, cada um de gradação diferente de cinza, tão pequenos e unidos que, à distância, os pontos constituintes são invisíveis. Vemos somente o efeito cumulativo. A informação da espaçonave especifica o brilho ou a capacidade de cada ponto. Após o processamento, os pontos são armazenados em um disco magnético semelhante ao fotográfico. Há perto de dezoito mil fotografias tiradas do sistema jupiteriano pela Voyager 1 guardadas nestes discos magnéticos, e um número equivalente da Voyager 2. O produto final deste admirável grupo de elos e retransmissões é um fino pedaço de papel lustroso, neste caso mostrando as maravilhas do Europa registradas, processadas e examinadas pela primeira vez na história humana a 9 de julho de 1979.

O que vimos nestas fotografias é absolutamente surpreendente. A Voyager 1 obteve uma imagem excelente dos outros três satélites galileanos, mas não do Europa. Este foi deixado para a Voyager 2 a fim de tirar as primeiras fotos dele em close, quando vimos aspectos de somente poucos quilômetros de extensão. À primeira vista o lugar parece lembrar a rede de canais que Percival Lowell imaginou enfeitar Marte e que agora sabemos, pela

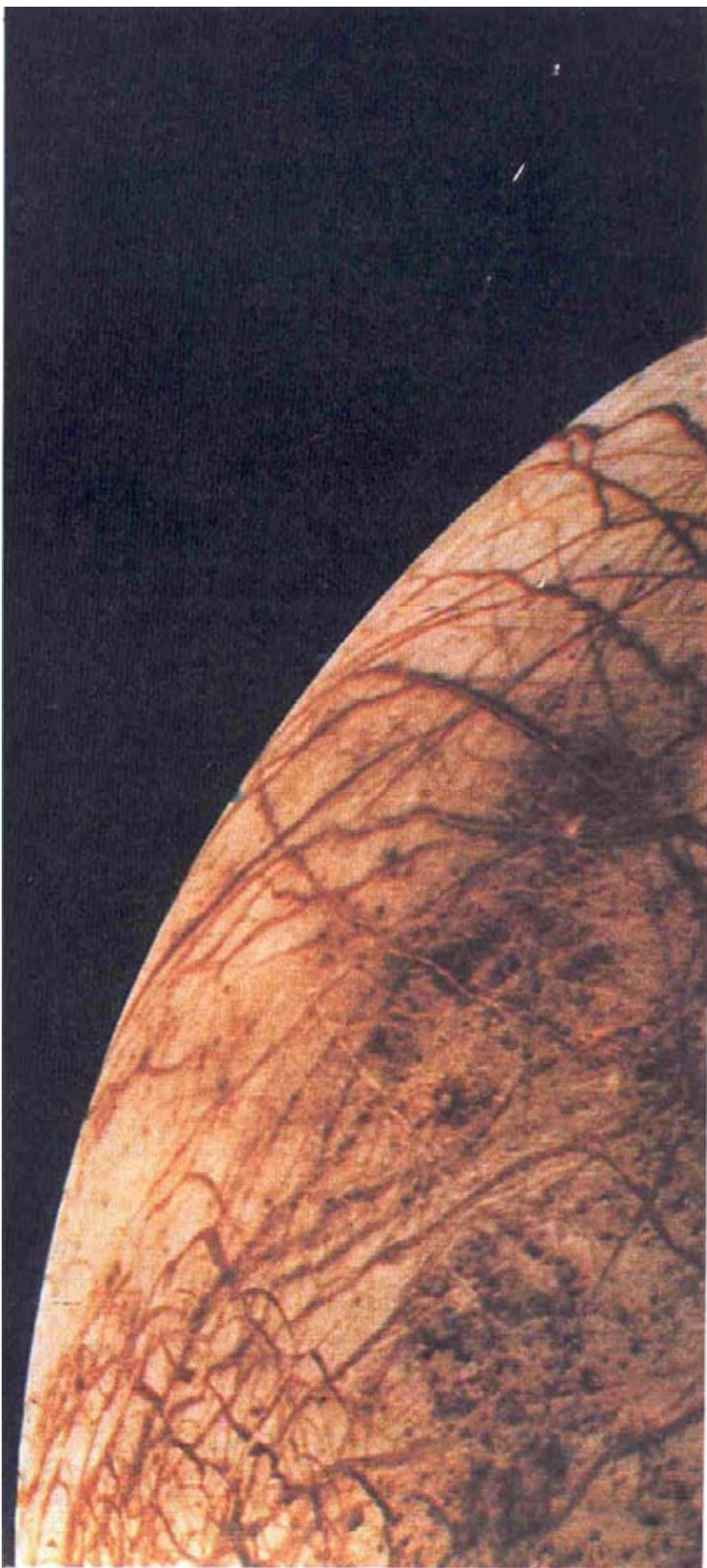


Rotas de vôo da Voyager 1 (cruzando a órbita de Urano, acima, à esquerda) e da Voyager 2 (interceptando Urano em janeiro de 1986). Mostra também a trajetória alternativa na qual a Voyager 2 teria se aproximado bastante de Titã, como o fez a Voyager 1.



Passagem da Voyager 1 (*acima*) e da Voyager 2 (*abaixo*) perto dos satélites galileanos de Júpiter, a 5 de março e 5 de julho de 1979.

A lua joviana Europa, vista pela Voyager 2 durante seu encontro em 9 de julho de 1979. Europa tem, aproximadamente, o tamanho da nossa lua, mas a sua topografia é muito diferente. A ausência de montanhas e crateras sugere que uma grossa crosta de gelo, talvez de 100 quilômetros de profundidade, envolva o interior de silicato. O complexo padrão de linhas escuras podem ser rachaduras no gelo, que foram preenchidas com material que se encontra por baixo da crosta. O intenso brilho de Europa confirma esta hipótese. Cortesia da NASA.



exploração de veículos espaciais, não existir. Vemos em Europa uma rede intrigante e espantosa de linhas retas e curvas que se interceptam. Serão sulcos criados? Serão canaletes escavados? Como serão feitos? Serão parte de um sistema tectônico global produzido pela fragmentação do planeta em expansão ou contração? Estarão conectados ao sistema tectônico na Terra? Que luz se desprende deles para os outros satélites do sistema joviano? No momento da descoberta, a tecnologia produziu algo surpreendente que permanece para um outro engenho, o cérebro humano, desvendar. Europa é tão liso como uma bola de bilhar, a despeito da rede de linhas. A ausência de crateras de impacto pode ser decorrente do aquecimento e liquefação do gelo da superfície sobre o impacto. As linhas são estritas ou rachaduras; sua origem ainda sendo debatida por muito tempo após a missão.

Se as missões Voyager fossem tripuladas, o capitão manteria um diário de navegação e um registro, uma combinação dos eventos das Voyagers 1 e 2, que seria mais ou menos assim:

1.º Dia—Após várias considerações a respeito de provisões e instrumentos, que pareciam não funcionar bem, deixamos Cabo Canaveral com sucesso para a nossa longa viagem aos planetas e estrelas.

2.º Dia— Um problema no desdobramento da baliza que suporta a plataforma científica exploratória. Se o problema não for resolvido, perderemos a maioria das fotos e outros dados científicos.

13.º Dia — Olhamos para trás e tiramos a primeira foto, nunca obtida anteriormente da Terra e da Lua como mundos próximos no espaço. Um par bonito.

150.º Dia — Motores acionados nominalmente para uma correção de trajetória de curso.

170.º Dia — Funções de manutenção de rotina. Alguns meses sem novidades.

185.º Dia — Imagens de calibração tiradas de Júpiter com sucesso.

207.º Dia — Problema da baliza resolvido, mas falha no radiotransmissor principal. Tivemos que utilizar o transmissor *back-up*. Se ele falhar, ninguém na Terra saberá mais de nós.

215.º Dia — Cruzamos a órbita de Marte. O planeta se encontra do outro lado do Sol.

295.º Dia — Penetramos no cinturão de asteróides. Há muitos seixos grandes rolando por aqui, bancos e baixios de areia do espaço. A maioria deles sem carga. Mantivemos vigilância. Esperamos evitar colisões.

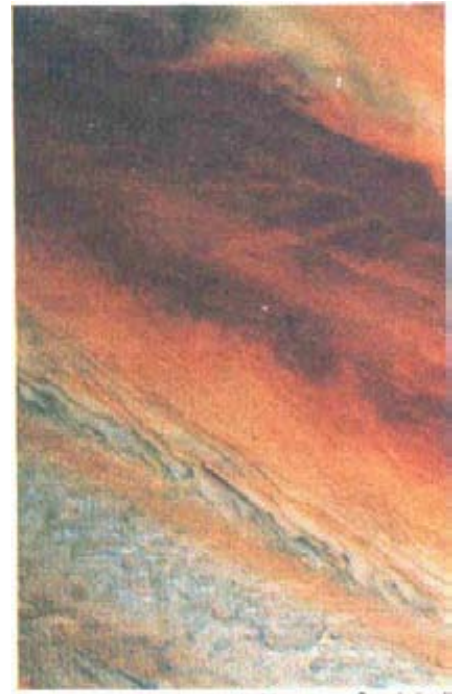
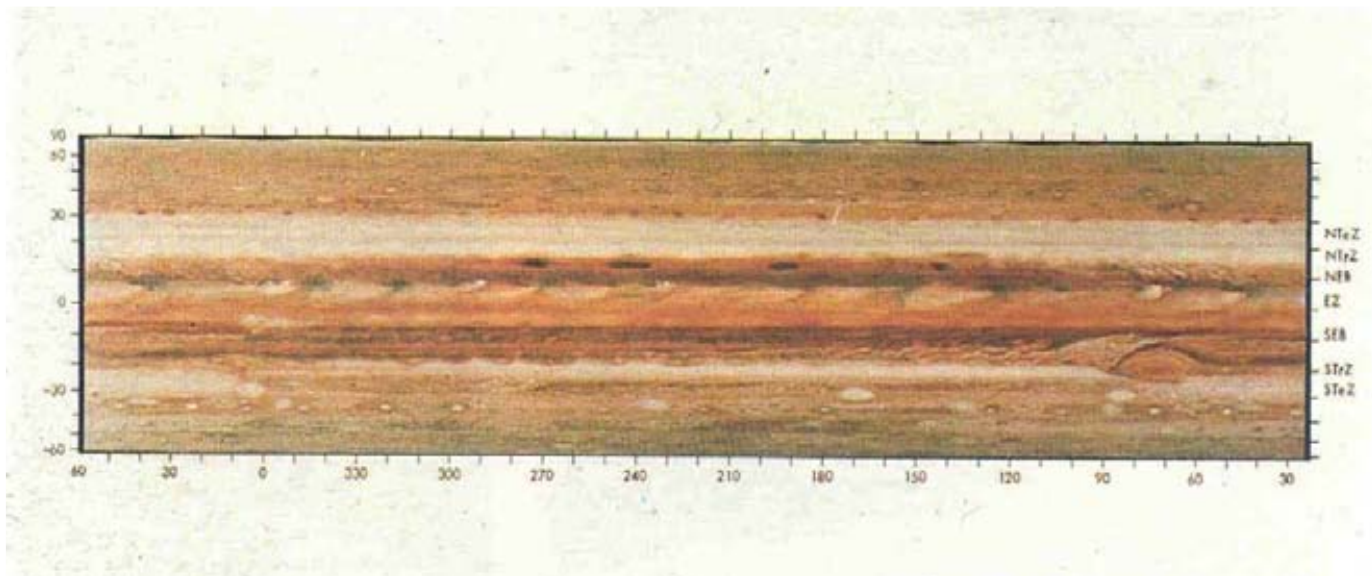


Imagem da Voyager 2, tirada a 6 de julho de 1979, mostrando uma região da atmosfera joviana a aproximadamente 25°N do equador. O "jato" de nuvens de temperatura setentrional é a tira cor de ferrugem que atravessa diagonalmente a formação. Estas nuvens estão se movendo a uma velocidade de cerca de 540 quilômetros por hora. As regiões azuis esbranquiçadas na parte inferior mostram interrupções nas nuvens de amônia superiores. A imagem é de, aproximadamente, 60 quilômetros abaixo. Cortesia da NASA.



Uma interrupção nas nuvens marrons claras de Júpiter (com nenhuma nuvem branca de amônia acima delas) nos permite visualizar uma camada mais abaixo de nuvens marrons escuras, contendo possivelmente um complexo orgânico. Medidas em infravermelho revelam que a nuvem marrom escura é mais quente que as que se encontram à sua volta. Imagem da Voyager 1. Cortesia da NASA.



"Pele de cobra", ou projeção cilíndrica dos padrões de nuvem joviana, como visto pela Voyager 1. As longitudes são fornecidas na parte inferior, e as latitudes à esquerda. Os símbolos (em inglês na figura) à direita são, em ordem, Zona Temperada Norte, Zona Tropical Norte, Cinturão Equatorial Norte, Zona Equatorial, Cinturão Equatorial Sul, Zona Tropical Sul e Zona Temperada Sul. As zonas tendem a ser encobertas por nuvens altas e brancas de amônia, diferentes dos cinturões coloridos. A Grande Mancha Vermelha (sigla em inglês GRS), a cerca de 75° longitude, situa-se próxima à fronteira do Cinturão Equatorial Sul e da Zona Tropical Sul. Os locais mais profundos e quentes são as zonas azuladas nas partes superiores das proeminências brancas encontradas a espaços regulares no Cinturão Equatorial Norte. Cortesia da NASA.

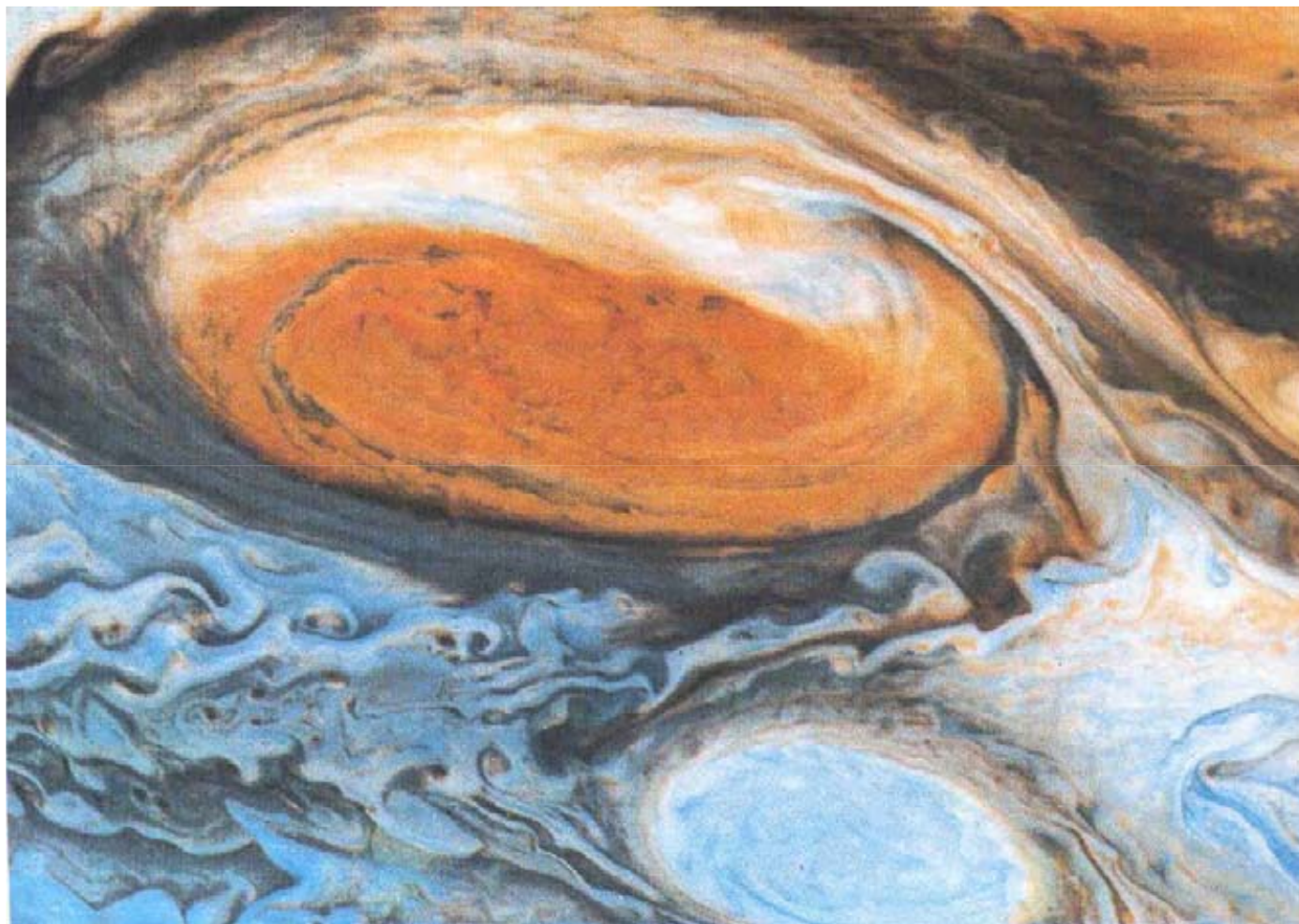


Imagem com cor falsa da Grande Mancha Vermelha, na qual o computador exagerou nos vermelhos e azuis, a custo dos verdes. Nuvens altas cobrem temporariamente cerca de um terço da GMV. Imagem da Voyager 1. Cortesia da NASA.



Imagem da Voyager 1 da superfície de Io. Cada um dos pontos escuros, quase circulares, é um vulcão recentemente em atividade. Um vulcão circundado por um halo claro, aproximadamente no centro do disco, foi observado em erupção quinze horas antes da tomada desta imagem; foi chamado de Prometeu. Julga-se que as cores preta, vermelha, laranja e amarela sejam enxofre congelado, expelido originalmente dos vulcões em estado líquido, com as temperaturas iniciais mais elevadas para os depósitos pretos e mais baixas para o amarelo. Os depósitos brancos, inclusive os que se encontram à volta de Prometeu, podem ser dióxido de enxofre congelado. Io possui 3640 quilômetros de diâmetro. Cortesia da NASA.



Dois vulcões em erupção no limbo ou bordo do crescente de Io. Aparentemente eles têm estado em erupção contínua por quatro meses. A proeminência inferior é do vulcão Maui Patera. Imagem da Voyager 2. Cortesia da NASA.



Fluxos recentes de enxofre derretido do vulcão Ra Patera, em Io. Vista quase que diretamente sobre a cratera do vulcão. Imagem da Voyager 1. Cortesia da NASA.

475.º Dia — Emergimos salvos do principal cinturão de asteróides, contentes de termos sobrevivido.

570.º Dia — Júpiter está se tornando proeminente no céu. Podemos agora obter detalhes melhores dos que existem revelados pelos maiores telescópios na Terra.

615.º Dia — Os colossais sistemas de tempo e nuvens de fumaça de Júpiter, girando no espaço à nossa frente, hipnotizaram-nos. O planeta é imenso. É duas vezes mais massivo do que todos os outros planetas juntos. Não há montanhas, vales, vulcões, rios, fronteiras entre a Terra e o ar, somente um vasto oceano de gás denso e nuvens flutuantes — um mundo sem superfície. Tudo o que podemos ver em Júpiter está flutuando em seu céu.

630.º Dia — O tempo de Júpiter continua a ser espetacular. Este mundo importante gira em seu eixo em menos de dez horas. Seus movimentos atmosféricos são dirigidos pela rotação rápida, pela luz solar e pelo calor brotando e fervendo do seu interior.

640.º Dia — Os padrões de nuvens são distintos e magníficos. Lembram-nos um Van Gogh — *Noite Estrelada*, ou os trabalhos de William Blake ou Edvard Munch, mas só um pouco. Nenhum artista jamais pintou o que vemos porque nunca deixaram o nosso planeta. Nenhum pintor baseado na Terra jamais imaginou um mundo tão estranho e adorável.

Observamos de perto os cinturões e as faixas multicoloridas de Júpiter. Pensa-se que as faixas brancas sejam nuvens altas, provavelmente cristais de amônia; os cinturões marrons, lugares mais profundos e mais quentes, onde a atmosfera está submergindo. Os locais azuis são aparentemente buracos profundos nas nuvens subjacentes através dos quais podemos ver o céu limpo.

Não sabemos a razão da cor marrom-avermelhada de Júpiter. Talvez seja devido à química do fósforo ou do enxofre. Talvez seja decorrente de moléculas orgânicas complexas de cor brilhante produzidas quando a luz ultravioleta do Sol rompe o metano, a amônia e a água na atmosfera joviana, e os fragmentos moleculares se recombinaem. Neste caso, as cores de Júpiter nos revelam acontecimentos químicos que há quatro bilhões de anos na Terra levaram à origem da vida.

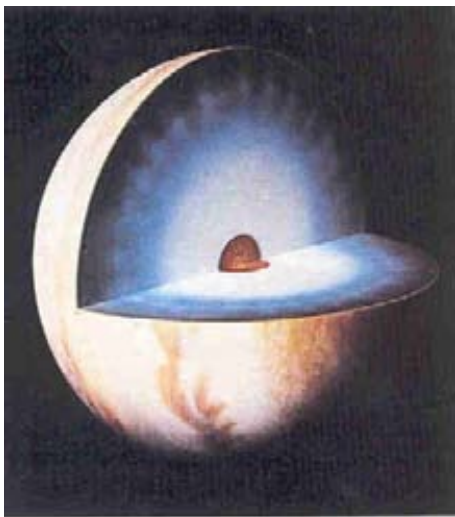
647.º Dia — A Grande Mancha Vermelha. Uma grande coluna de gás atingindo bem acima das nuvens adjacentes, tão grande que poderia conter meia dúzia de Terras. Talvez seja vermelha por trazer para cima as moléculas complexas produzidas ou concentradas a grande profundidade. Pode ser um grande sistema de tempestade com um milhão de anos.



Proeminência vulcânica do vulcão Loki Patera, em Io. Aqui aparece a luz ultravioleta em vermelho. Circundando a proeminência, em luz visível, está uma grande nuvem, brilhando na luz solar ultravioleta refletida e composta de partículas muito pequenas. O efeito é similar ao modelo azul da luz refletida pelas finas partículas de fumaça. O topo da nuvem ultravioleta está a mais de 200 quilômetros da superfície de Io, talvez ejetando partículas e átomos extremamente diminutos diretamente no espaço. A matéria ejetada talvez ainda esteja em órbita em torno de Júpiter, assim como Io, e suprimindo o grande tubo de átomos que circunda Júpiter na altura de Io. Imagem da Voyager 1. Cortesia da NASA.



Amaltheia, a pequena lua de formato irregular de Júpiter, como foi vista pela Voyager 1. As manchas brilhantes são, provavelmente, crateras de impacto. A cor avermelhada talvez seja uma consequência de material perdido por Io e capturado por Amaltheia, cuja órbita está a 181.000 quilômetros de Júpiter, dentro da de Io. Amaltheia tem cerca de 240 quilômetros de diâmetro, e seu eixo maior está voltado na direção de Júpiter. Cortesia da NASA.



Modelo em corte do interior de Júpiter. Nesta escala, as nuvens visíveis são mais finas do que a pintada no exterior da superfície do modelo. No centro está uma esfera de metal e rocha, um pouco semelhante à Terra, circundada por um vasto oceano de hidrogênio metálico líquido.

650.º Dia — O Encontro. Um dia de assombros. Negociamos, com sucesso, os traiçoeiros cinturões radioativos de Júpiter com somente um instrumento, o fotopolarímetro, danificado. Efetuamos a travessia do plano de anéis sem sofrer colisões com as partículas e seixos dos anéis recentemente descobertos. Imagens magníficas de Amaltheia, um pequeno e oblongo mundo vermelho que mora no coração do cinturão radioativo, do multicolorido Io, das marcas lineares do Europa, das características teias de aranha de Ganimedes, do reservatório grande com muitos anéis em Calisto. Rodeamos Calisto e atravessamos a órbita do Júpiter 13, a mais externa de suas luas conhecidas. Estamos na fronteira externa.

662.º Dia — Nossos detectores de campo e de partículas indicam que deixamos os cinturões radioativos de Júpiter. A gravidade do planeta diminuiu a nossa velocidade. Estamos pelo menos livres de Júpiter e viajando novamente no mar do espaço.

874.º Dia — Perda da orientação da nave pela estrela Canopus — na linguagem das constelações, o leme de um veleiro. É o nosso leme também, essencial para a orientação da nave na escuridão do espaço, para descobrir nosso caminho nesta parte inexplorada do oceano cósmico. Readquirida a orientação de Canopus. Parece que o sensor óptico enganou-se trocando a Alpha e a Beta Centauri por Canopus. Próximo porto de chamada, daqui a dois anos: o sistema de Saturno.

De todas as histórias de viajantes que retornaram da Voyager, as minhas favoritas falam das descobertas realizadas no mais interno dos satélites galileanos, Io. Antes da Voyager, estávamos ansiosos sobre algo estranho referente ao Io. Poderíamos resolver algumas características em sua superfície, mas sabíamos que era vermelho, muito vermelho, mais do que Marte, talvez o objeto mais vermelho no sistema solar. Por um período de anos, alguma coisa parecia estar se alterando nele, a luz infravermelha e talvez suas propriedades de reflexão ao radar. Também sabíamos que circundando parcialmente Júpiter na posição orbital de Io, havia um grande tubo em forma de rosca de átomos, enxofre, sódio e potássio, material de alguma forma perdido de Io.

Quando a Voyager se aproximou desta lua gigantesca, vimos uma estranha superfície multicolorida diferente de qualquer outra do sistema solar. Io está próximo ao cinturão de asteróides. Deve ter sido inteiramente bombardeado no decorrer da sua história por seixos cadentes. Devem ter-se formado crateras de impacto, embora não haja nenhuma à vista. Portanto, deve haver em Io algum processo extremamente eficiente em desmanchar ou preencher crateras. Este processo não pode ser atmosférico, uma vez que a atmosfera de Io escapou em sua maior parte para o espaço, em decorrência de sua pouca gravidade. Não haveria água corrente, pois a superfície de Io é

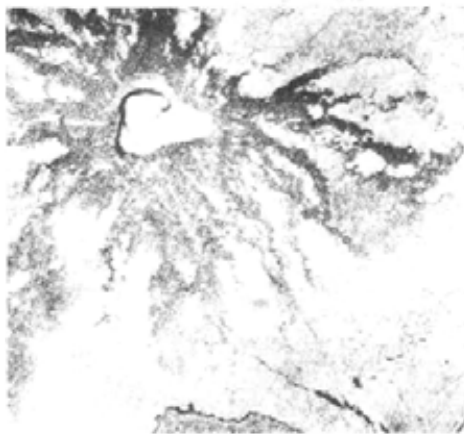
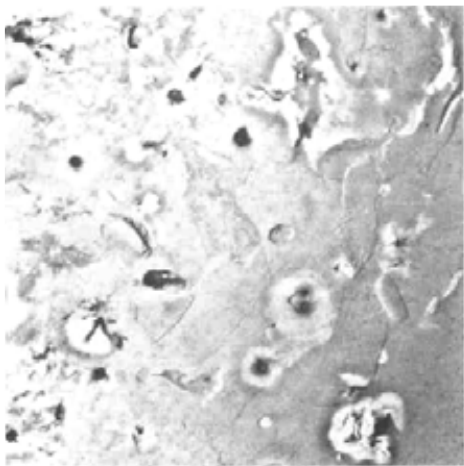
extremamente fria. Há poucos locais que lembram os topos de vulcões. É difícil ter certeza.

Linda Morabito, membro do Grupo de Navegação da Voyager, responsável por manter a nave precisamente em sua trajetória, estava ordenando, como de rotina, um computador a realçar uma imagem do bordo de Io para exibir as estrelas além dele. Para surpresa sua, viu uma pluma brilhante deslocando-se na escuridão, proveniente da superfície do satélite, e logo foi determinado que a pluma estava exatamente na posição de um dos vulcões suspeitos. A Voyager descobriu o primeiro vulcão ativo fora da Terra. Sabemos agora de nove grandes vulcões lançando gases e debris, e centenas, talvez milhares, de vulcões extintos em Io. Os debris, rolando e fluindo pelos lados das montanhas vulcânicas, arqueando em grandes jatos por cima do panorama policrômico, são mais do que suficientes para cobrir as crateras de impacto. Estávamos olhando para um panorama planetário novo, uma superfície recentemente delineada. Como Galileo e Huygens teriam se maravilhado!

Os vulcões de Io foram preditos, antes de serem descobertos, por Stanton Peale e seus auxiliares, que calcularam as marés que se levantam no interior sólido de Io pelos influxos combinados da lua Europa, próxima, e por Júpiter. Eles descobriram que as rochas no interior de Io devem ter derretido, não pela radioatividade, mas pelas marés; que a maior parte do interior de Io deve ser líquida. Agora parece provável que os vulcões de Io são uma saída do oceano subterrâneo de enxofre líquido, derretido e concentrado próximo à superfície. Quando o enxofre líquido é aquecido um pouco acima do ponto normal de ebulição da água, em torno de 115°C, ele derrete e muda de cor. Quanto mais alta a temperatura, mais escura a cor. Se o enxofre derretido for rapidamente esfriado, reterá a cor. O padrão de cores que vimos em Io parece muito com aquilo que esperaríamos, se rios, torrentes e lençóis de enxofre derretido estivessem se derramando das bocas dos vulcões: o enxofre negro, o mais quente, próximo do topo do vulcão, vermelho e laranja, incluindo os rios, em regiões próximas e grandes planícies cobertas de enxofre amarelo mais ao longe. A superfície de Io está mudando em uma escala de tempo de meses. Os mapas devem ser publicados regularmente, como os registros meteorológicos na Terra. Os exploradores do futuro, em Io, terão que conservar sua capacidade em alerta.

A atmosfera muito tênue e escassa de Io foi descoberta pela Voyager, sendo composta principalmente de dióxido de enxofre. Mas esta atmosfera tênue pode servir a um propósito útil, porque pode ser espessa o suficiente para proteger a superfície das partículas muito carregadas do cinturão radioativo de Júpiter, no qual Io está contido. À noite, a temperatura cai tanto que o dióxido de enxofre pode condensar como um tipo de geada branca; as partículas carregadas então se chocam com a superfície, e será provavelmente prudente passar as noites em subterrâneos.

As grandes plumas vulcânicas de Io atingem uma altura tal que ficam perto de ejetar seus átomos diretamente no espaço em torno de Júpiter. Os vulcões são a fonte do grande anel de átomos



Solo antártico de Io. Pode ser vista uma grande profusão de panoramas, incluindo planícies lisas, crateras vulcânicas, torrentes de enxofre, escarpas íngremes e, embaixo à direita, circundado por um halo brilhante, montanhas isoladas e abruptas. A foto abrange cerca de 1700 quilômetros de largura. Abaixo está um *close-up* de um aspecto da figura acima; no centro, à esquerda, um padrão de fluxo vulcânico de 225 quilômetros de largura, proveniente de uma cratera que contém uma ilha irregular. Imagens da Voyager 1. Cortesia da NASA.

em forma de rosca que circunda Júpiter na posição da órbita de Io. Estes átomos, espiralando gradualmente em direção a Júpiter, devem cobrir a lua interna, Amaltéia, podendo ser responsável pela sua coloração avermelhada. É ainda possível que este material, que escapa do Io, contribua, após muitas colisões e condensações, para o sistema anelar de Júpiter.

Uma presença humana substancial em Júpiter é ainda mais difícil de ser imaginada, embora eu suponha que grandes cidades-balões flutuando permanentemente na atmosfera sejam uma possibilidade tecnológica em um futuro remoto. Visto pelos lados mais próximos de Io e Europa, este mundo imenso e variável preenche a maior parte do céu, e elevando-se acima de tudo, nunca se levantando ou se pondo, pois quase todo satélite no sistema solar mantém uma face constante voltada para o seu planeta, como o faz a Lua com a Terra. Júpiter será uma fonte contínua de provocação e excitação para os futuros exploradores humanos das luas jovianas.

À medida que o sistema solar se condensou da poeira e gás interestelares, Júpiter adquiriu a maioria da matéria que não foi ejetada para o espaço interestelar e não se uniu para formar o Sol. Se Júpiter fosse algumas dúzias de vezes mais massivo, a matéria em seu interior teria sofrido reações termonucleares, e ele teria começado a brilhar com luz própria. O maior planeta é uma estrela que nunca existiu como tal. Mesmo assim, suas temperaturas interiores são suficientemente altas para liberar duas vezes mais energia do que a que recebe do Sol. Na parte infravermelha do espectro, é correto considerar-se Júpiter uma estrela. Se tivesse se tornado uma estrela na luz visível, habitaríamos hoje um sistema binário ou de estrela-dupla, com dois sóis em nosso céu, e as noites seriam raras, um evento comum, acredito eu, nos incontáveis sistemas solares na Via-láctea. Sem dúvida acharíamos as circunstâncias naturais e adoráveis.

Bem abaixo das nuvens de Júpiter, o peso das camadas subjacentes da atmosfera produz pressão bem maior do que qualquer uma na Terra, pressão esta tão grande que os elétrons são espremidos dos átomos de hidrogênio, estado físico jamais observado nos laboratórios terrestres, pois as pressões requeridas nunca foram atingidas na Terra. (Há alguma esperança de que o hidrogênio metálico seja um supercondutor em temperaturas moderadas. Se pudesse ser manufaturado na Terra, faria uma revolução eletrônica.) No interior de Júpiter, onde as pressões são em torno de três milhões de vezes a pressão atmosférica na superfície da Terra, não há quase nada a não ser um grande oceano derretido e escuro de hidrogênio metálico. Bem no centro de Júpiter deve haver uma massa informe de rocha e ferro, um mundo semelhante à Terra no que se refere à pressão, escondido para sempre no centro do maior dos planetas.

As correntes elétricas no interior de metal líquido de Júpiter devem ser a fonte do campo magnético enorme do planeta, o maior no sistema solar e de seu cinturão associado de prótons e elétrons aprisionados. Estas partículas carregadas são ejetadas do Sol no vento solar e capturadas e aceleradas pelo campo magnético de Júpiter. Um grande número delas é

aprisionado acima das nuvens e condenado a saltar de um pólo a outro, até encontrar por acaso alguma molécula em uma alta camada atmosférica e ser removido do cinturão radioativo. Io se move em uma órbita tão próxima de Júpiter, que sulca no meio desta radiação intensa, criando cascatas de partículas carregadas que, por seu turno, geram explosões violentas de radioenergia. (Também podem influenciar os processos eruptivos na superfície de Io).

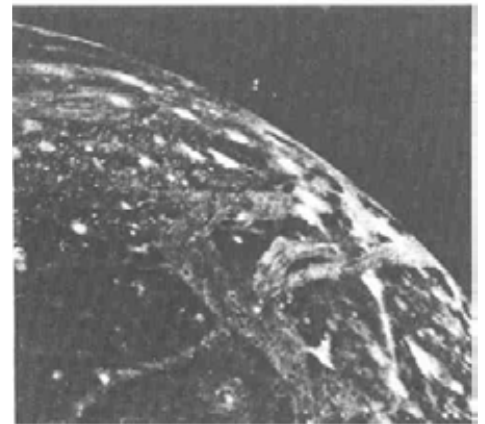
É possível predizerem se as tempestades de rádio de Júpiter com uma certeza maior do que os prognósticos meteorológicos na Terra, verificando a posição de Io.

Foi descoberto acidentalmente que Júpiter era uma fonte de emissão de rádio no início da década de 50, nos primeiros dias da radioastronomia. Dois jovens americanos, Bernard Bueke e Kenneth Franklin, estavam examinando o céu com um radiotelescópio recentemente construído e muito sensível para a época. Estavam procurando pela radiação de fundo cósmico, isto é, fontes de rádio além do nosso sistema solar. Para surpresa deles, encontraram uma fonte intensa não registrada anteriormente, que não parecia corresponder a nenhuma estrela, nebulosa ou galáxia destacada. Além disso movia-se gradualmente em relação às estrelas distantes, muito mais rápido do que poderia fazê-lo qualquer objeto remoto.* Após não descobrir nenhuma explicação plausível para isto em suas cartas do Cosmos distante, um dia permaneceram fora do observatório e olharam o céu, sem instrumentos, para ver se achavam alguma coisa interessante acontecendo. Abismados, notaram um objeto excepcionalmente brilhante no local exato, que logo identificaram como o planeta Júpiter. Esta descoberta acidental é, incidentalmente, típica na história da ciência.

A cada final de tarde antes do encontro da Viking 1 com Júpiter, eu podia ver o planeta gigante cintilando no céu, uma visão que nossos ancestrais teriam apreciado e desejado por um milhão de anos. E na tarde do Encontro, a caminho para estudar os dados que chegaram da Voyager no L.P.J., pensei que Júpiter jamais voltaria a ser o mesmo, nunca mais seria somente um ponto de luz no céu noturno, mas um *Local* a ser explorado e conhecido. Júpiter e suas luas são um tipo de miniatura do sistema solar, de mundos diversos e delicados com muita coisa para nos ensinar.

Quanto à composição e em muitos outros aspectos, Saturno é semelhante a Júpiter, embora menor. Girando uma vez a cada 10 horas, exhibe uma faixa equatorial colorida sendo, contudo, menos proeminente do que a de Júpiter. Possui um campo magnético e um cinturão radioativo mais fraco do que os de Júpiter e um grupo mais vistoso de anéis circumplanetários. É também circundado por uma dúzia ou mais de satélites.

A lua mais interessante de Saturno parece ser Titã, a maior lua do sistema solar e a única com uma atmosfera substancial. Antes do encontro da Voyager 1 com Titã, em novembro de 1980, nossas informações sobre ele eram dispersas e conflitantes. O único gás existente conhecido, do qual não tínhamos

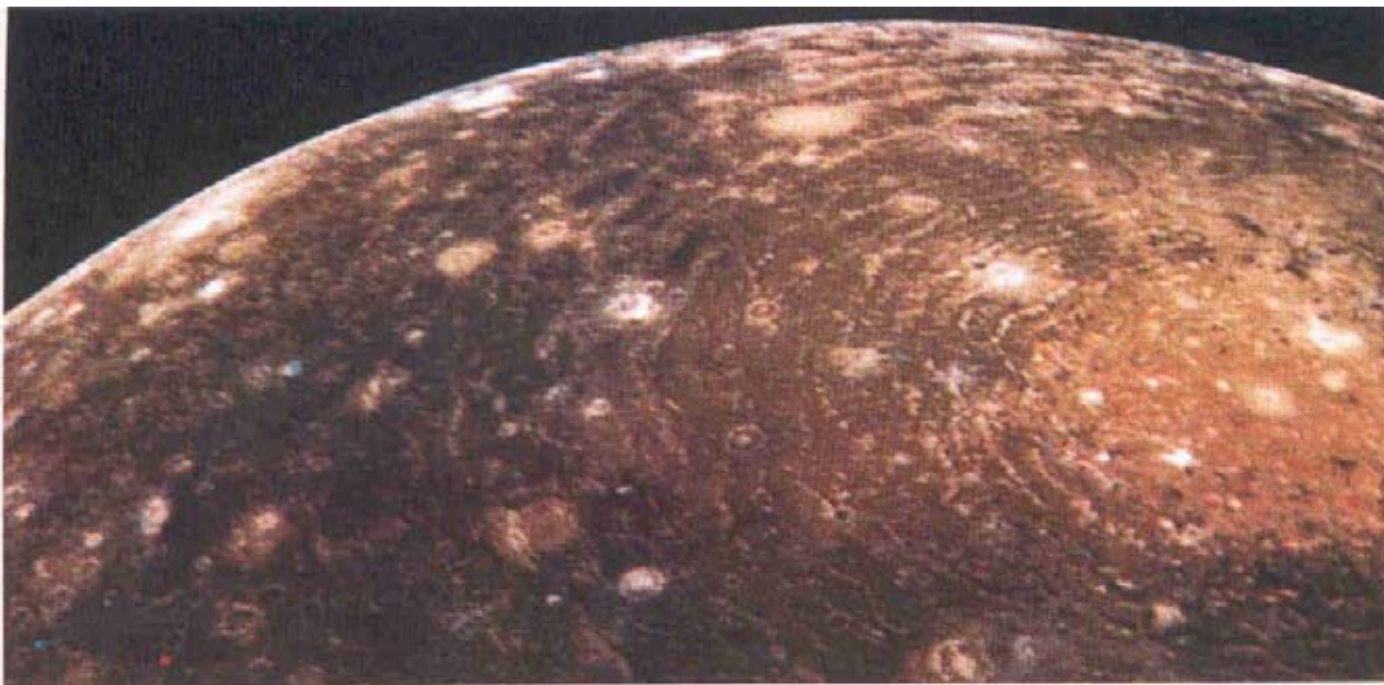


Ganimedes, a maior lua de Júpiter. As menores formas visíveis nesta foto da Voyager 1 têm cerca de três quilômetros de largura. São evidentes numerosas crateras de impacto, muitas com raios brilhantes. As listras que se interceptam e se desviam são compostas de sulcos de origem desconhecida. Cortesia da NASA.

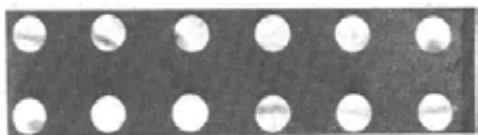


Imagem enviada pela Voyager 2 de Ganimedes, em 8 de julho de 1979. As listras paralelas brilhantes, que atravessam a planície escura à direita, foram possivelmente causadas, como ondas em um lago, por um antigo impacto em sua superfície gelada. Não há nenhuma cratera no local de impacto pressuposto, talvez em decorrência da lenta deformação viscosa através dos séculos. Cortesia da NASA.

*Por ser finita a velocidade da luz (veja o Capítulo 8).



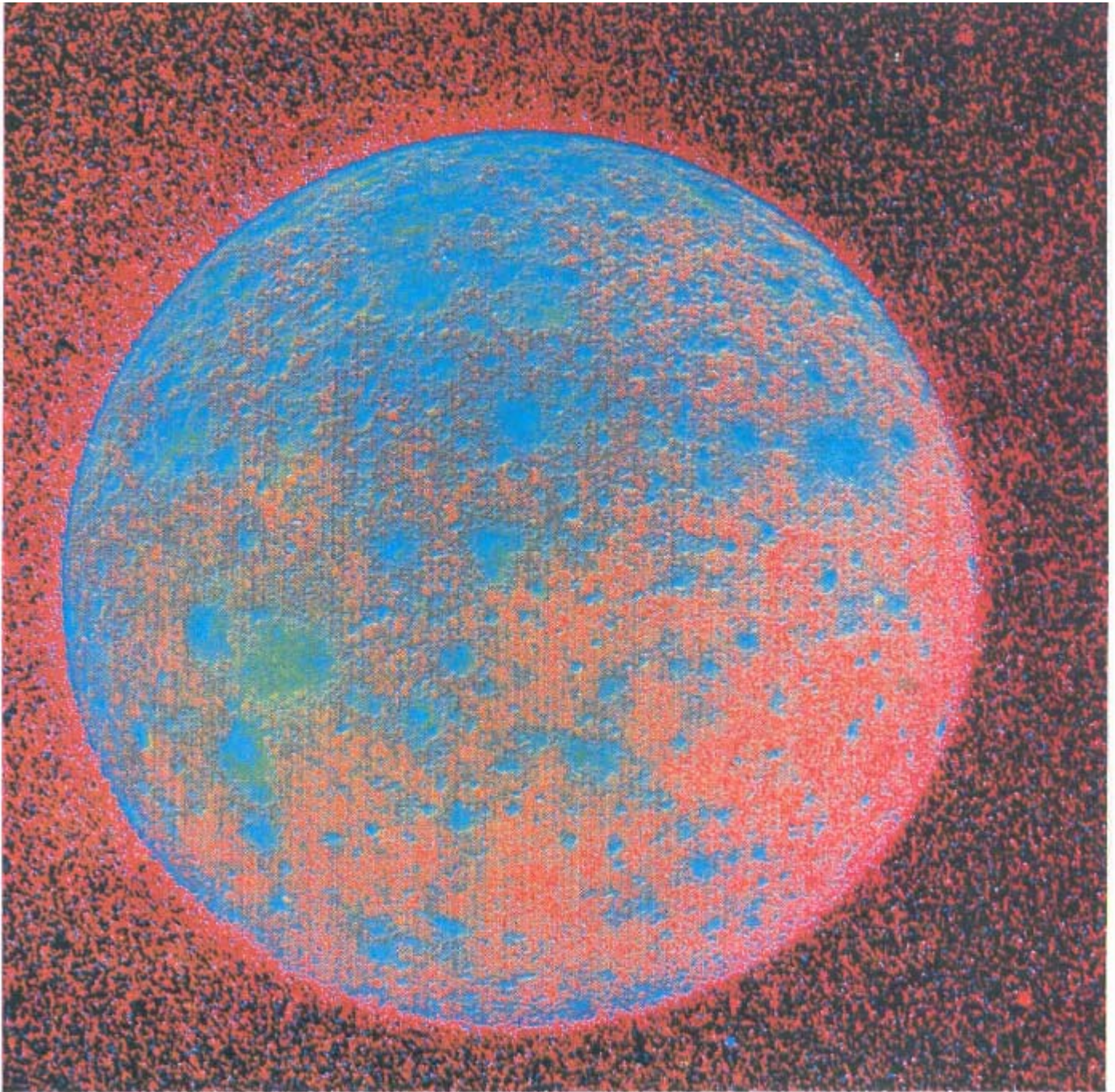
Calisto, fotografado pela Voyager 1, a 6 de março de 1979, a uma distância de 350.000 quilômetros. Calisto tem cerca do tamanho de Mercúrio. As numerosas crateras de impacto em Calisto sugerem que tenha a superfície mais antiga de todas as luas galileanas de Júpiter, possivelmente a fase final do acréscimo data de 4 a 4,5 bilhões de anos atrás. Calisto tem cerca de metade do albedo de Ganimedes, sugerindo que a sua crosta gelada é "suja" (é duas vezes mais brilhante do que a nossa lua). A clarabóia, à direita, foi formada por um grande impacto. A mancha brilhante ao centro tem cerca de 600 quilômetros de diâmetro. Cortesia da NASA.



Doze desenhos de Titã, de Audouin Dollfus, feitos no Observatório Pic du Midi, nos Pirineus franceses. Vista da Terra, a imagem de Titã é tão pequena que mesmo o seu disco é dificilmente discernível. As observações sugerem nuvens brancas variáveis, talvez cirros de metano, acima de uma camada mais escura — quem sabe as nuvens de matéria orgânica sugerida em outra evidência. A necessidade de um veículo espacial que envie fotografias em *close-up*, como as programadas para a Voyager 1, em novembro de 1980, é óbvia. Cortesia de Audouin Dollfus.

dúvida, era o metano, CH_4 , descoberto por G. P. Kuiper. A luz ultravioleta do Sol converte este gás em moléculas mais complexas de hidrocarboneto e gás hidrogênio. O hidrocarboneto deve permanecer em Titã, cobrindo a superfície com uma lama orgânica alcatroada marrom, algo semelhante à produzida em experiências sobre a origem da vida, na Terra. O leve peso do gás de hidrogênio deve, pela baixa gravidade de Titã, escapar rapidamente para o espaço por um processo violento conhecido como "explosão", que deve carregar o metano e outros constituintes atmosféricos com ele. Mas Titã possui uma pressão atmosférica pelo menos tão grande quanto a do planeta Marte. A "explosão" não parece estar acontecendo. Talvez haja um constituinte principal e ainda não descoberto, nitrogênio por exemplo, que mantém alto peso médio molecular da atmosfera evitando a explosão. Ou talvez esteja acontecendo a "explosão", mas os gases perdidos no espaço são abastecidos por outros liberados do interior do satélite. A densidade de volume de Titã é tão baixa que deve haver um vasto suprimento de água e outros gelos, incluindo provavelmente o metano, que são, em ritmo desconhecido, liberados para a superfície por aquecimento interno.

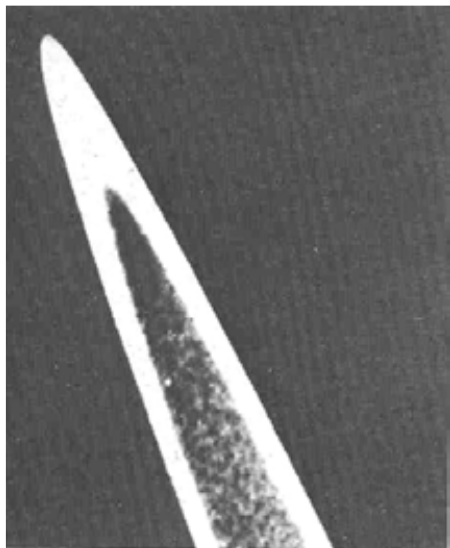
Quando examinamos Titã pelo telescópio, vemos um disco avermelhado pouco perceptível. Alguns observadores registraram nuvens brancas acima deste disco, mais provavelmente nuvens de cristais de metano. Qual será o responsável pela coloração avermelhada? A maioria dos estudiosos de Titã concorda que a explicação mais razoável são moléculas orgânicas complexas. A temperatura de superfície e a densidade da atmosfera ainda estão em debate. Houve algumas sugestões de uma elevação da temperatura de superfície devido ao efeito de estufa atmosférico. Com moléculas orgânicas abundantes em sua superfície e em sua atmosfera, Titã é um



estrangeiro único e notável do sistema solar. A história de nossas viagens anteriores de descobertas sugerem que a Voyager e outras missões espaciais de reconhecimento revolucionarão nosso conhecimento deste local.

Através de uma brecha entre as nuvens de Titã, podemos vislumbrar Saturno e seus anéis, sua cor pálida difusa pela atmosfera. Por estar o sistema de Saturno dez vezes mais longe do Sol do que a Terra, o brilho solar em Titã tem somente um por cento da intensidade a que estamos acostumados, e as temperaturas devem estar bem abaixo do ponto de congelamento da água, mesmo com o efeito de estufa atmosférico considerável. Pela abundância de matéria orgânica, luz solar e talvez pontos

Imagem de Calisto com cor falsa. Cada mancha brilhante é uma cratera de impacto. Foto da Voyager 1. Cortesia da NASA.



O anel de Júpiter, descoberto pela Voyager 1 e aqui fotografado pela Voyager 2. Júpiter está fora da foto, à direita, abaixo. Composto de pequenas partículas, ele parece se estender por toda a volta do alto das nuvens jovianas, sugerindo um estágio estacionário entre a produção, talvez de material que escape de Io, e a destruição pela penetração nas nuvens de Júpiter. É muito menor e mais opaco do que os anéis de Saturno, justificando o fato de que nunca tinha sido visto da Terra antes da existência de Voyager. Cortesia da NASA.

vulcânicos quentes, a possibilidade de vida em Titã* não pode ser prontamente descartada. Não há nenhuma evidência real contra ou a favor da vida em Titã. É meramente possível. Não podemos determinar a resposta a esta pergunta sem antes enviar veículos de pouso com instrumentos para a superfície de Titã.

Para examinar as partículas individuais que compõem os anéis de Saturno, temos que nos aproximar bastante, pois as partículas são pequenas bolas de neve, aparas de gelo e pequenas massas de gelo rolando, com um metro ou mais. Sabemos que são compostas de gelo de água porque as propriedades espectrais da luz solar refletida nos anéis condizem com a do gelo nas medições laboratoriais. Para nos aproximarmos das partículas em um veículo espacial temos que diminuir a velocidade, para podermos acompanhá-las à medida que elas giram em torno de Saturno, a cerca de 45.000 milhas por hora (83.340 km/h), isto é, temos que estar também em órbita do planeta, movendo-nos na mesma velocidade das partículas. Somente deste modo seremos capazes de vê-las individualmente, e não como gotas ou riscas.

Por que não há um único satélite grande em lugar de um sistema anelar em torno de Saturno? Quanto mais perto do planeta estiver uma partícula do anel, maior será a sua velocidade orbital (a mais rápida está "caindo" em torno do planeta — terceira lei de Kepler); as mais internas estão voando entre as externas ("o corredor da passagem", como o vemos, está sempre à esquerda). Embora o todo esteja se despedaçando em torno do próprio planeta a 20 quilômetros por segundo, a velocidade *relativa* de duas partículas adjacentes é muito baixa, somente alguns centímetros por minuto. Em virtude deste movimento relativo, as partículas nunca conseguem se unir pela sua gravidade mútua. Logo que tentam, suas velocidades orbitais ligeiramente diferentes as separam. Se os anéis não estivessem tão próximos a Saturno, este efeito não seria tão forte, e as partículas poderiam se juntar, formando pequenas bolas de neve, e eventualmente tornando-se satélites. Assim, não é provavelmente uma coincidência que no lado externo dos anéis de Saturno haja um sistema de satélites variando em tamanho de algumas centenas de quilômetros de diâmetro, até Titã, uma lua gigante quase tão grande quanto o planeta Marte. A matéria em todos os satélites e nos próprios planetas pode ter sido originalmente distribuída em forma de anéis, que se condensaram e se acumularam para formar as luas e planetas

*A concepção de Huygens, que descobriu Titã em 1655, foi: "Agora ninguém poderá mais olhar e comparar estes Sistemas [de Júpiter e Saturno] sem se admirar com a vasta Magnitude e nobres Acompanhantes destes dois Planetas em relação a esta nossa pobre Terra. Ou poderão forçar-se a pensar que o Criador sábio colocou aqui todos os seus Animais e Plantas, abasteceu e enfeitou somente este Ponto e deixou todos esses Mundos desprovidos e destituídos de habitantes, que devem adorá-lo e venerá-lo; ou que todos esses corpos prodigiosos foram feitos somente para cintilar e ser estudados por uns poucos de nós, pobres-diabos". Já que Saturno se move em torno do Sol uma vez em trinta anos, a duração das suas estações e suas fases lunares é muito maior do que a da Terra. A respeito dos presumíveis habitantes das luas de Saturno, Huygens escreveu: "é impossível, mas seu modo de viver deve ser muito diferente do nosso, havendo invernos tão tediosos".

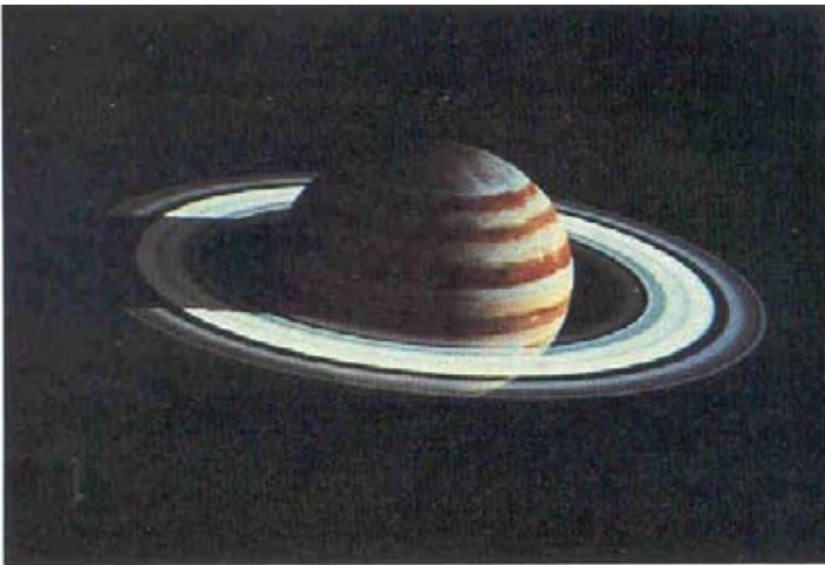
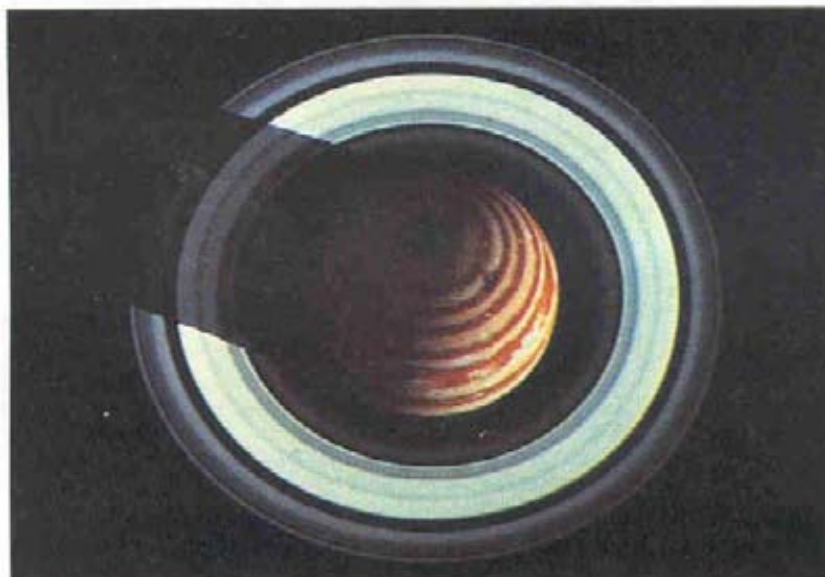
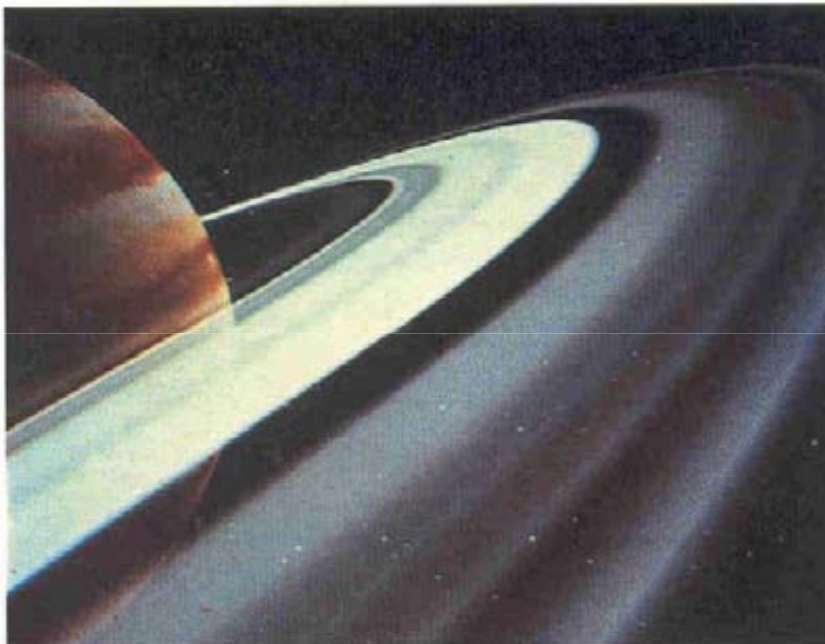
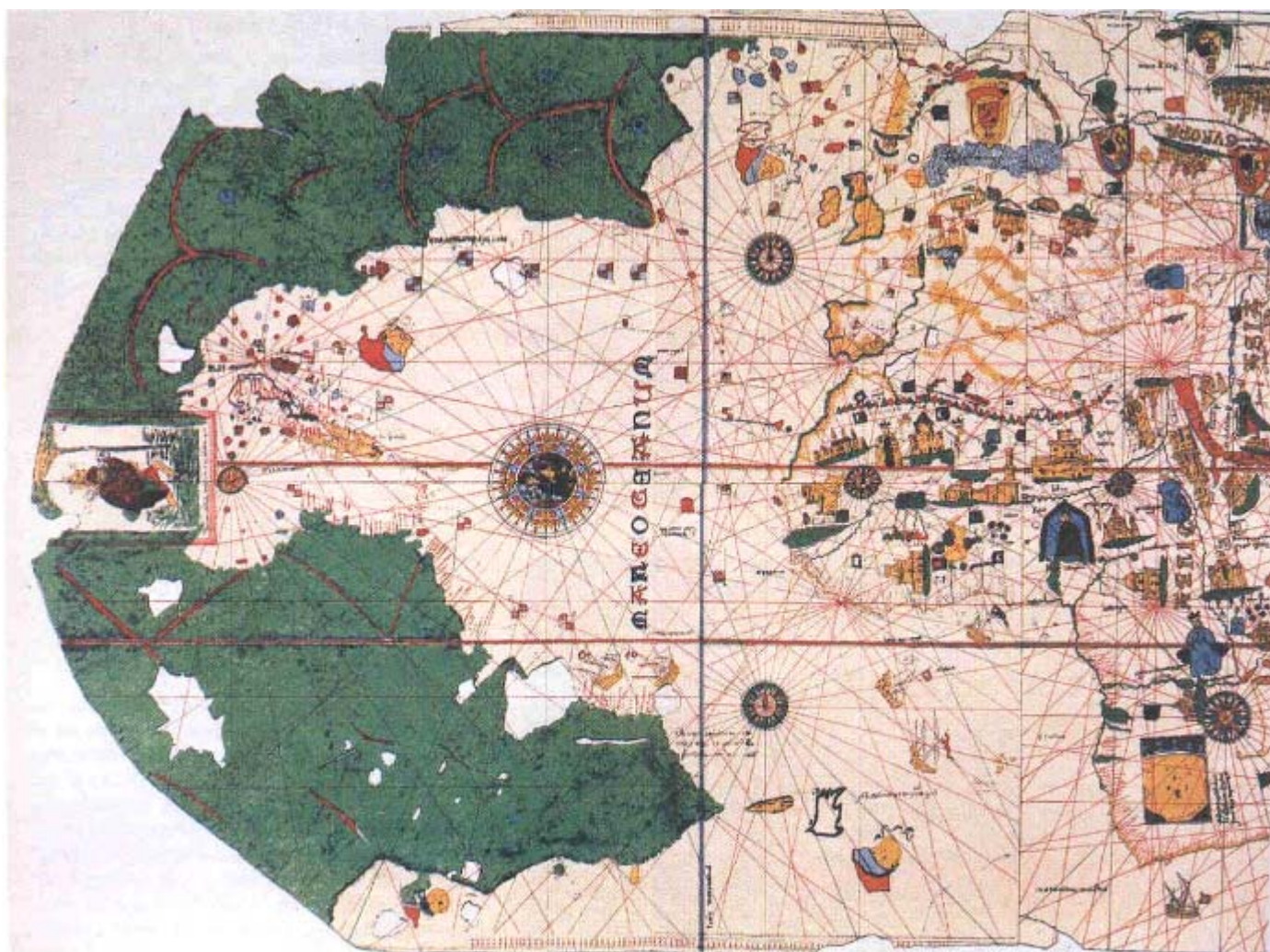
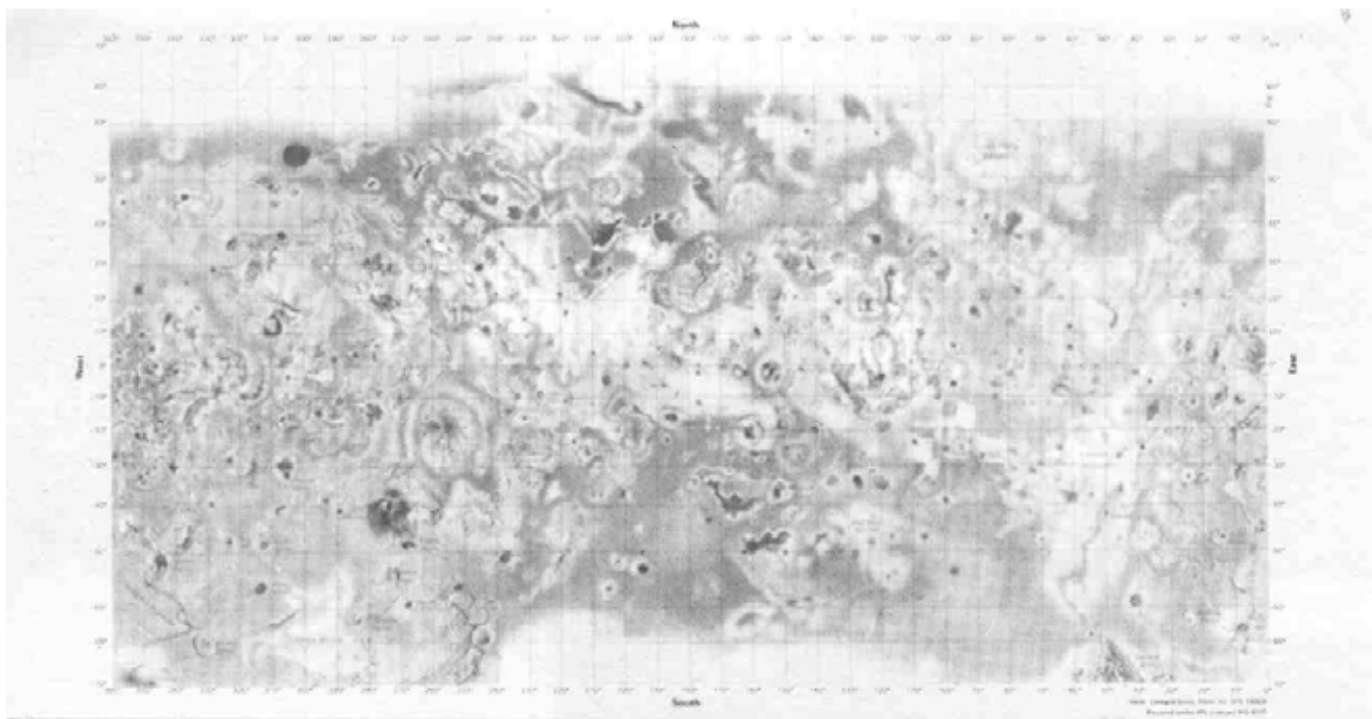


Foto de Saturno e seus anéis, obtida pela Pioneer 11 a uma distância de 2,5 milhões de quilômetros, em 29 de agosto de 1979, após uma viagem de mais de cinco anos. Cortesia da NASA.



Gráficos computadorizados de Saturno em três perspectivas diferentes, que vão dos anéis quase que de perfil *(acima)* a dos anéis por inteiro *(abaixo)*, visão nunca obtida da Terra. A principal interrupção entre os anéis é a Divisão de Cassini; as estrelas podem ser vistas através dela, que não é desprovida das partículas dos anéis. Por esta razão, um plano da Pioneer 11 para atravessar a Divisão de Cassini foi abandonado. O número preciso, posição e opacidade das outras interrupções nos anéis permanecem indeterminados. Cortesia de J. Blinn e C. Kohlase, Jet Propulsion Laboratory.



Mapas dos novos mundos. Acima, cartografia de lo feita pelo U. S. Geological Survey, baseada nos dados das Voyager 1 e 2. Estão indicadas as formas chamadas Ra, Loki, Maui e Prometeu, mostradas nas fotos das Voyager apresentadas neste capítulo. Embaixo, o primeiro mapa a mostrar as Américas, compilado no ano de 1500 por Juan de la Cosa, oficial que viajou com Colombo. Cortesia da American Geographical Society Collection, da University of Wisconsin — Milwaukee.

atuais. Tanto o campo magnético de Saturno como o de Júpiter captam e aceleram as partículas carregadas do vento solar. Quando uma partícula dessas salta de um pólo magnético a outro, deve atravessar o plano equatorial de Saturno. Se houver uma partícula do anel no caminho, o próton ou elétron é absorvido por esta pequena bola de neve. Como resultado, em ambos os planetas os anéis limpam os cinturões radioativos, que existem somente interna e externamente aos anéis. Uma lua próxima de Júpiter ou Saturno traga as partículas do cinturão, sendo uma das novas luas de Saturno descoberta desta forma: a Pioneer 11 descobriu uma falha inesperada nos cinturões radioativos, causada pela varredura das partículas carregadas por uma lua não conhecida anteriormente.

O vento solar desliza no sistema solar exterior bem além da órbita de Saturno. Quando a Voyager chegar a Urano e às órbitas de Netuno e Plutão, se os instrumentos ainda estiverem funcionando, certamente sentirão a sua presença, o vento entre os mundos, o topo da atmosfera do Sol levado ao domínio das estrelas. A duas ou três vezes a distância do Sol a Plutão, a pressão dos prótons e elétrons se torna maior que a exercida lá pelo vento solar. Aquele local, chamado heliopausa, é uma definição da fronteira externa do Império do Sol. Mas a espaçonave Voyager mergulhará e penetrará na heliopausa em algum momento na metade do século XXI, deslizando no oceano do espaço, nunca penetrando em outro sistema solar, destinada a vagar pela eternidade entre as linhas estelares e a completar a primeira circunavegação do centro massivo da Via-láctea, daqui a algumas centenas de milhões de anos. Aventuramo-nos em viagens épicas.



A Espinha Dorsal da Noite. Criação de Jon Lomberg representando uma metáfora sobre a natureza da Via-láctea relatada pelo povo Kung, da República de Botswana.



Capítulo VII

A ESPINHA DORSAL DA NOITE

Eles vieram de um buraco redondo no céu ... que brilhava como fogo. Isto, disse o Corvo, foi uma estrela.

— Mito esquimó da criação.

Entenderia melhor uma origem do que ser rei da Pérsia.

— Demócrito de Abdera

Mas Aristarco de Samos encontrou um livro que consiste de algumas hipóteses nas quais as premissas levam à conclusão de que o universo é muitas vezes maior do que o atualmente reconhecido. Suas hipóteses são de que as estrelas fixas e o Sol não se movem, que a Terra gira em torno do Sol na circunferência de um círculo, o Sol repousando no meio da órbita, e que a esfera das estrelas fixas, situada perto do mesmo centro em que está o Sol, é tão grande que o círculo em que ele supõe que a Terra esteja se encontra na mesma proporção da distância das estrelas fixas quanto o centro da esfera está para a sua superfície.

— Arquimedes, *O Calculista do Tempo*.

Se for interpretado um registro fiel das idéias do Homem sobre a Divindade, ele será obrigado a reconhecer que, na maioria das vezes, a palavra "deuses" foi utilizada para expressar as causas ocultas remotas, desconhecidas de efeitos testemunhados por ele; que ele aplica este termo quando a origem do natural, a fonte das causas conhecidas, cessa de ser visível: assim que perde o fio de continuidade das causas, ou logo que a sua mente não consegue mais seguir a cadeia, ele resolve a dificuldade, termina sua busca, atribuindo-a aos seus deuses... Quando, portanto, imputa a seus deuses a produção de algum fenômeno... não estará ele fazendo nada além de substituir a limitação da sua própria mente por um som que está acostumado a ouvir com respeito e temor?

— Paul Heinrich Dietrich, Barão von Holbach, *Sistema da Natureza*, Londres, 1770

Quando eu era pequeno morava no Bensonhurst, Brooklyn, na cidade de Nova Iorque. Conhecia meus vizinhos próximos intimamente, cada edifício de apartamentos, gaiolas de pombos, pátios internos, entradas, terrenos baldios, o olmo, a balaustrada ornamental, a chaminé e a parede de jogar *handball* chinês, e entre isto tudo o exterior de tijolos de um teatro chamado Loew Stillwell em destaque. Sabia onde morava muitas pessoas: Bruno e Dino, Ronald e Harvey, Sandy, Bernie, Danny, Jackie e Myra. A alguns quarteirões, ao norte do barulhento trânsito no elevador da Rua 86, situava-se um território estrangeiro e desconhecido, fora dos limites das minhas andanças. Poderia ser Marte para mim.

Mesmo deitando-nos cedo, no inverno, podemos algumas vezes ver as estrelas. Podia olhar para elas, piscando distantes, e imaginar como seriam. Podia perguntar às crianças mais velhas e aos adultos, os quais diriam: "São luzes no céu, garoto". Eu podia ver as luzes no céu. Mas o que elas *seriam*? Somente luzes suspensas no ar? Para quê? Sentia uma espécie de pena delas, vulgares, cuja singularidade permanecia de alguma forma oculta aos meus amigos não curiosos. Deveria existir alguma resposta mais profunda.

Assim que cresci o bastante, meus pais deram-me meu primeiro cartão de empréstimo da biblioteca, que ficava na Rua 85, território estrangeiro. Imediatamente pedi à bibliotecária alguma coisa sobre as estrelas. Ela voltou com um livro de gravuras com retratos de homens e mulheres, com nomes como Clark Gable e Jean Harlow. Suspirei, e por uma razão obscura para mim, ela sorriu e achou um outro livro — o tipo certo. Eu o abri, com a respiração presa, e li até encontrar. O livro dizia algo chocante, uma grande idéia. Revelava que as estrelas eram sóis, muito distantes. O Sol era uma estrela, só que estava próxima de nós.

Imaginemos deslocar o Sol para tão longe que ele se torne somente um diminuto ponto de luz piscando. Quanto teríamos de afastá-lo? Eu ignorava a noção de tamanho angular, bem como a lei do inverso do quadrado em relação à propagação da luz. Não possuía nem um vislumbre da possibilidade de calcular a distância das estrelas. Mas podia dizer que se as estrelas eram sóis, tinham que estar bem longe, muito mais longe do que a Rua 85, Manhattan e até provavelmente Nova Iorque. O Cosmos era muito maior do que eu supunha.

Depois li outro fato espetacular. A Terra, o que incluía Brooklyn, era um planeta que girava em torno do Sol. Havia outros planetas que também giravam em torno do Sol, alguns mais próximos dele e outros mais longe. Os planetas não tinham luz própria como o Sol, mas meramente refletiam a sua luz. Se você estivesse a uma distância muito grande, não veria a Terra e os outros planetas; eles seriam somente pontos pálidos de luz, perdidos no resplendor do Sol. Bem, então pensei: "É razoável que as outras estrelas possuam planetas também, que ainda não detectamos, e que alguns desses planetas devam ter vida (por que não?), um tipo de vida provavelmente diferente da nossa, como a conhecíamos, a vida no Brooklyn". Decidi então ser um astrônomo, aprender sobre estrelas e planetas, e, se possível, visitá-los.

Foi um bem imenso ter pais e professores que encorajaram esta ambição, e viver em uma época, o primeiro momento na história da humanidade, que estava realmente visitando outros mundos e engajando-nos em um reconhecimento mais profundo do Cosmos. Se eu tivesse nascido antes, a despeito da minha dedicação, não teria compreendido o que são estrelas e planetas. Não teria sabido que há outros sóis e outros mundos. Este é um dos grandes segredos, arrancado da natureza através de um milhão de anos de observação paciente e idéias arrojadas de nossos ancestrais.

O que são as estrelas? Esta pergunta é tão natural como o sorriso de uma criança. Sempre fizemos este tipo de pergunta. O que é diferente agora é que pelo menos sabemos algumas perguntas. Livros e bibliotecas são meios prontos para a descoberta delas. Em biologia há um princípio da aplicabilidade poderoso, embora imperfeito, chamado recapitulação: em nosso desenvolvimento embrionário individual, delineamos a história evolucionária das espécies. Há, penso eu, um tipo de recapitulação que ocorre também em nosso desenvolvimento intelectual individual. Inconscientemente delineamos os pensamentos de nossos ancestrais remotos. Imaginemos um tempo anterior à ciência e às bibliotecas. Imaginemos um tempo, há centenas de milhares de anos. Éramos então somente ativos, curiosos e envolvidos em aspectos sociais e sexuais. As experiências não tinham sido feitas, as invenções não tinham surgido. Era a infância do gênero *Homo*. Imaginemos quando o fogo foi descoberto. Como era a vida do ser humano? O que acreditavam nossos ancestrais serem as estrelas? Algumas vezes, em minha fantasia, imagino que houve alguém que pensava assim:

Comemos sementes e raízes. Nozes e folhas. E animais mortos. Alguns nós descobrimos, outros matamos. Sabemos quais os alimentos bons e quais os perigosos. Se provamos alguns, somos abatidos como punição por tê-los comido. Não temos intenção de fazer coisas ruins. Mas a dedaleira e a cicuta podem matar. Amamos nossas crianças e nossos amigos. Prevenimo-los destes alimentos.

Quando caçamos animais, também podemos ser mortos, feridos, pisoteados ou comidos. O que os animais fazem significa vida e morte para nós — como se comportam, quais as pistas que deixam, a época do acasalamento e procriação, a época de vagar. Temos que saber estas coisas. Nós dizemos às nossas crianças. Eles dizem às deles.

Dependemos dos animais. Nós os seguimos, especialmente no inverno, quando há poucas plantas para comer. Somos caçadores e cobradores errantes. Chamamo-nos povo caçador. A maioria de nós dorme ao ar livre, debaixo de uma árvore ou em seus galhos. Usamos pele de animais como roupa — para nos aquecer, cobrir nossos corpos e algumas vezes como cama. Quando usamos as peles dos animais, sentimos o poder deles. Pulamos com a gazela. Caçamos com o urso. Há uma ponte entre nós e os animais. Caçamos e comemos animais. Eles nos caçam e nos comem. Somos parte um do outro.

Fazemos ferramentas e nos mantemos vivos. Alguns de nos são bons em tirar lascas ou lâminas, afiá-las e poli-las, bem como achar pedras. Algumas rochas nós amarramos com tendões de animais a um cabo de madeira e fazemos um machado. Com ele batemos em plantas e animais. Outras rochas são atadas a longas varas. Se ficarmos quietos observando, podemos algumas vezes chegar próximo a um animal e enterrar uma lança.

A carne se estraga. Algumas vezes estamos com fome e tentamos não nos incomodar. Misturamos ervas com a carne ruim para disfarçar o gosto. Nós embrulhamos alimentos que não estragam em pedaços de pele de animal, em grandes folhas ou na casca de uma noz grande. É aconselhável separar a comida e guardá-la. Se comermos logo esta comida, alguns de nós sentirão fome depois. Temos que ajudar os outros. Por isto e por muitas coisas temos regras. Todos devem obedecê-las. Sempre tivemos regras. Elas são sagradas.

Um dia houve uma tempestade com muito raio, muito trovão e muita chuva. Os pequenos têm medo de tempestades. Algumas vezes eu também. O segredo da tempestade está escondido. O trovão é profundo e alto; o raio é breve e luminoso. Talvez alguém muito poderoso esteja zangado. Penso que deva ser alguém no céu.

Após as tempestades houve movimentos e estalos na floresta próxima. Fomos ver. Havia uma coisa saltando, quente, brilhante, amarela e vermelha. Nunca tínhamos visto isto antes. Agora a chamamos de "chama". Tem um odor especial. De certo modo é viva. Come alimentos. Come plantas e galhos de árvore e até árvores inteiras, se você deixar. É forte, mas não muito esperto. Se acabar toda a comida, morre. Não consegue andar a distância de um disparo de lança, de uma árvore para outra, se não houver comida no caminho. Não pode andar sem comer. Mas onde há bastante comida, ela cresce e faz muitas crianças-chamas.

Um de nós teve um pensamento bravo e perigoso: capturar a chama, alimentá-la um pouco e torná-la nossa amiga. Descobrimos alguns galhos longos de madeira dura. A chama os comeu, mas lentamente. Nós podíamos segurá-los pelo lado que não tinha chama. Se você correr com uma pequena chama, ela morre. Suas crianças são fracas. Nós não corremos. Andamos e gritamos coisas boas. "Não morra", nós dizemos para a chama. O outro povo caçador olhou com olhos compridos.

Mesmo depois, carregamo-la conosco. Temos uma chama-mãe para alimentar lentamente para que não morra de fome. A chama é uma maravilha e também é útil, certamente um presente dos poderosos. São eles os mesmos seres zangados das tempestades?*

*Este sentido do fogo como uma coisa viva, para ser protegido e cuidado, não deve ser encarado como uma noção primitiva. É encontrado na raiz de muitas civilizações modernas. Cada casa da antiga Grécia, de Roma e entre os brâmanes da antiga Índia possuía uma lareira e uma série de leis prescritas para cuidar da chama. À noite os carvões eram cobertos com cinzas para isolar; pela manhã adicionavam novas varas para reviver a chama. A morte da chama na lareira era considerada sinônimo de morte na família. Em todas as três culturas, o ritual da lareira estava conectado com o culto dos ancestrais. Esta é a origem da chama eterna, um símbolo ainda muito utilizado em cerimoniais religiosos, comemorativos políticos e atléticos em todo o mundo.

A chama nos mantém aquecidos em noites frias. Nos dá a luz. Faz buracos no escuro quando é Lua nova. Podemos fazer lanças para a caçada do dia seguinte. E se não estivermos cansados, mesmo no escuro, podemos ver os outros e conversar. Podemos ser feridos à noite. Algumas vezes somos comidos, mesmo por pequenos animais, hienas e lobos. Agora é diferente. Agora a chama afasta os animais. Nós os vemos ladrando baixinho no escuro, rondando, seus olhos brilhando na luz da chama. Eles têm medo dela. Nós não. A chama é nossa. Cuida-mos dela. Ela cuida de nós.

O céu é importante. Ele nos cobre e nos fala. Antes de descobrirmos a chama, podíamos deitar no escuro e olhar para cima para os pontos de luz. Alguns deles se juntam e formam figuras no céu. Um de nós pode vê-las melhor do que os outros. Ela nos ensina as figuras e nos diz os nomes para chamá-las. Sentamos em roda, tarde da noite, e fazemos histórias sobre as figuras no céu: leões, cachorros, ursos, povos caçadores. Outras figuras são estranhas. Serão as figuras dos seres poderosos no céu, aqueles que fazem tempestades quando ficam zangados?

Na sua maior parte, o céu não muda. As mesmas figuras de estrelas estão lá ano após ano. A Lua cresce do nada, de uma lasca fina a uma bola redonda, tornando então ao nada. Quando a Lua muda, as mulheres sangram. Algumas tribos possuem leis contra o sexo em determinadas épocas do crescimento e encolhimento da Lua. Algumas tribos riscam os dias da Lua, ou os dias que as mulheres sangram, em ossos de veado. Podem então planejar à frente e obedecer suas regras. As regras são sagradas.

As estrelas estão muito distantes. Quando subimos uma colina ou em uma árvore não ficam mais próximas. As nuvens ficam entre nós e as estrelas: elas devem estar depois das nuvens. A Lua, enquanto se move lentamente, passa na frente das estrelas. Depois podemos ver que as estrelas não ficam danificadas. A Lua não come as estrelas. Elas devem estar depois da Lua. Elas piscam. Uma luz estranha fria, branca e distante. São muitas no céu todo. Mas somente à noite. Pergunto-me o que serão.

Depois que descobrimos a chama, eu estava sentado próximo do fogo do grupo pensando nas estrelas. Lentamente me veio uma idéia. As estrelas são chamas. Então tive outro pensamento: as estrelas são fogos de grupo que os outros povos caçadores acendem à noite. As estrelas dão uma luz menor do que a do fogo do grupo. Então as estrelas devem ser grupos muito distantes. "Mas," elas me perguntaram, "como pode haver fogos de acampamento no céu? Por que os fogos do grupo e o povo caçador em volta da chama não caem em nossos pés? Por que tribos estranhas não caem do céu?"

São boas perguntas, que me confundem. Às vezes penso que o céu é metade de uma grande casca de ovo, ou de uma grande casca de noz. Penso que este povo, em volta dos fogos distantes, olha para nós, exceto que para eles parece que nós é que estamos em cima, e dizem que nós estamos em seu céu e se perguntam por que não caímos em cima deles. Penso que você me entende. Mas o povo caçador diz, "Embaixo é embaixo, em cima é em cima". É também uma boa resposta.

Há um outro pensamento que um de nós teve. Ele pensou que a noite é uma grande pele preta de animal jogada no céu. Há buracos na pele. Olhamos através dos buracos. E vemos a chama. Seu pensamento não é que haja chama em alguns lugares onde vemos estrelas. Ele pensa que a chama está em toda parte. Ele pensa que a chama cobre o céu todo, mas a pele esconde a chama, exceto onde há buracos.

Algumas estrelas andam, como os animais que caçamos. Como nós. Se olharmos com cuidado por muitos meses, saberemos que elas se movem. Há somente cinco delas, como os dedos da mão. Vagueiam lentamente entre as estrelas. Se o pensamento do fogo do grupo for verdadeiro, estas estrelas devem ser tribos de caçadores errantes, transportando grandes fogos. Mas não vejo como estrelas andantes possam ser buracos em uma pele. Quando fazemos um buraco, ele fica lá. Um buraco é um buraco. Buracos não vagueiam. Também não desejo ser rodeado por um céu de chama. Se a pele cai, o céu noturno brilhará, como se houvesse uma chama em todos os lugares. Penso que um céu de chama nos comerá a todos. Talvez haja dois tipos de seres poderosos no céu. Os maus, que desejam que a chama nos coma, e os bons, que colocam a pele para afastar a chama. Temos que encontrar um modo de agradecer aos bons.

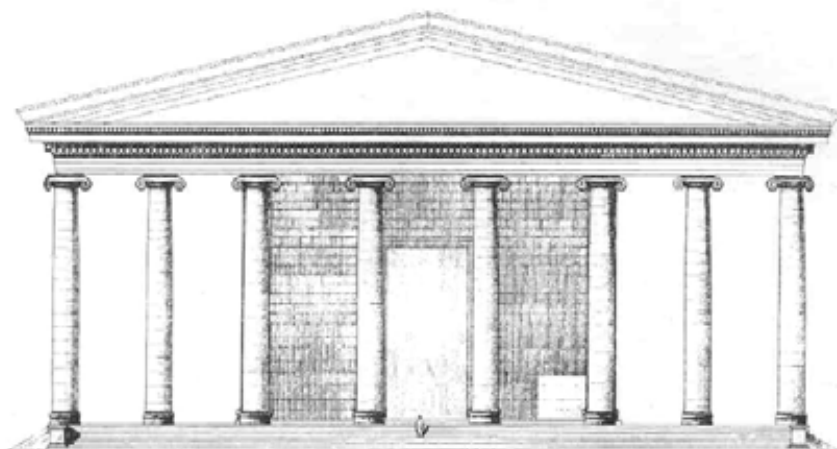
Não sei se as estrelas são fogos de grupo no céu. Ou buracos em uma pele através dos quais a chama do poder olha para nós. Às vezes, penso de um modo, em outras, penso diferente. Uma vez pensei que não havia fogos nem buracos, mas outra coisa muito difícil para eu compreender.

Repouse o pescoço em uma tora. Sua cabeça virará para trás e você só verá o céu. Nem montanhas, nem árvores, nem caçadores, nem fogo. Somente o céu. Algumas vezes penso que cairei dentro do céu. Se as estrelas forem fogos de grupos, gostaria de visitar alguns outros caçadores, os que vagueiam. Então acho que seria bom cair. Mas se as estrelas são buracos em uma pele, fico com medo. Não quero cair em um buraco e dentro da chama do poder.

Gostaria de saber o que é verdadeiro. Não gosto de não saber.

Imagino que nem todos os membros de grupos de caçadores tenham tido pensamentos como esses sobre as estrelas. Talvez, através dos tempos, alguns os tivessem, mas nunca todos em uma só pessoa, embora idéias sofisticadas sejam comuns nessas comunidades. Por exemplo, o aborígine Kung do deserto de Kalahari, em Botswana, possui uma explicação para a Via-láctea, que na sua latitude está sempre acima dele. Chamam-na de "a espinha dorsal da noite", como se o céu fosse um grande animal dentro do qual vivêssemos. A explicação deles torna a Via-láctea tanto útil quanto compreensível. Os Kung acreditam que a Via-láctea sustenta a noite, que se não fosse por ela, fragmentos de escuridão se despedaçariam aos nossos pés. É uma idéia elegante.

Metáforas como fogos celestiais de grupos ou espinhas dorsais galácticas foram eventualmente substituídas na maioria



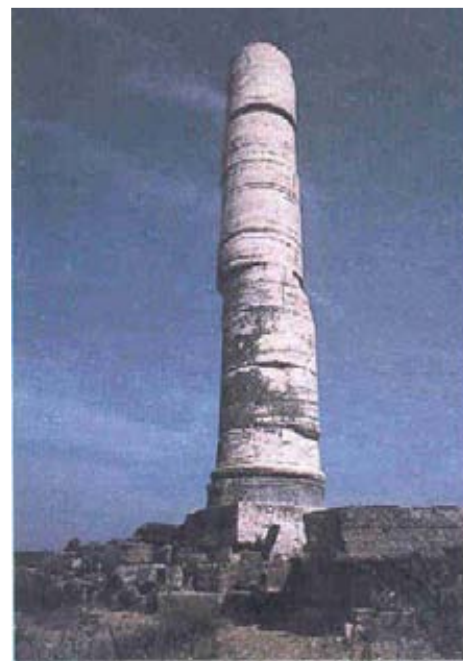
Reconstrução do templo de Hera, na ilha grega de Samos. Era o maior templo da época, com 120 metros de comprimento. Sua construção começou em 530 A.C. e continuou até o século III A.C. Do *Der Heratempel von Samos*, de Oscar Reuther (1957).

das culturas humanas por outra idéia: os seres poderosos no céu foram promovidos a deuses. A eles foram dados nomes e parentescos e responsabilidades especiais nos serviços cósmicos, os quais eram esperados que eles se incumbissem. Havia um deus ou deusa para cada assunto humano. Os deuses coordenavam a Natureza. Nada podia acontecer sem a sua intervenção direta. Se estivessem alegres, havia muita fartura, e os seres humanos ficavam contentes. Mas se alguma coisa os desagradasse, e algumas vezes era algo mínimo, as consequências eram aterrorizantes: inundações, tempestades, guerras, terremotos, vulcões e epidemias. Os deuses tinham que ser agradados, e uma vasta indústria de sacerdotes e oráculos surgiu para aplacar os deuses. Mas por serem caprichosos, não havia certeza do que faziam. A Natureza era um mistério. Era difícil entender o mundo.

Pouco resta do Templo de Hera na ilha de Samos no mar Egeu, uma das maravilhas do mundo antigo, um grande templo dedicado a Hera, que começou sua carreira como a deusa do céu. Era a deidade protetora de Samos, desempenhando o mesmo papel de Atenas em sua cidade. Mais tarde Hera casou-se com Zeus, o chefe dos deuses do Olimpo. Sua lua-de-mel foi em Samos, é o que nos dizem as histórias antigas. A religião grega explica que a faixa difusa de luz no céu noturno é o leite de Hera que esguichou do seu seio atravessando o céu, uma lenda que é a origem do nome ainda usado no Ocidente — a Via-láctea. Talvez representasse originalmente o conhecimento profundo com o qual o céu nutre a Terra; se assim o for, o significado parece ter sido esquecido.

Somos, quase todos, descendentes de povos que responderam aos perigos da existência inventando histórias sobre deidades imprevisíveis ou descontentes. Por muito tempo o instinto humano da compreensão foi frustrado por explicações religiosas fáceis, como na antiga Grécia, no tempo de Homero, quando havia deuses do céu e da Terra, a trovoadra, os oceanos e o submundo, o fogo, o tempo, o amor e a guerra, onde toda árvore e prado possuíam seu duende e seu gnomo.

Por milhares de anos os seres humanos foram oprimidos, como o somos ainda alguns, por uma noção de que o universo é uma marionete cujos cordões são movidos por



Única coluna sobrestistente do Templo de Hera, em Samos.



Um mapa do Mediterrâneo leste nos templos clássicos, mostrando as cidades associadas com os grandes cientistas clássicos.

deuses ou deusas, invisíveis e inescrutáveis. Então, há 2.500 anos houve um glorioso despertar em Jônia: em Samos e outras colônias gregas próximas que cresciam entre ilhas e enseadas do leste movimentado do mar Egeu.* Repetidamente surgiram pessoas que acreditavam que tudo era feito de átomos; os seres humanos e os outros animais tinham surgido de formas mais simples, que as doenças não eram causadas por demônios ou deuses, que a Terra era somente um planeta girando em torno do Sol, e que as estrelas estavam muito longe.

Esta revolução fez surgir do Caos, o Cosmos. Os antigos gregos acreditavam que no princípio havia o Caos, correspondendo à frase no Gênesis "sem forma". O Caos criou e se uniu a uma deusa chamada Noite, e sua prole produziu todos os deuses e os homens. Um universo criado do Caos possuía uma continuidade perfeita, de acordo com a crença grega em uma Natureza imprevisível governada por deuses caprichosos. No

*Para aumentar a confusão, Jônia não está no mar Jônico; recebeu seu nome dos colonos da costa do mar Jônico.

século VI A.C. em Jônia, foi desenvolvido um conceito novo, uma das grandes idéias da espécie humana. O universo era cognoscível, argumentavam os antigos jônicos, porque apresenta uma ordem interna: há regularidades na Natureza que permitem que os seus segredos sejam desvendados. A Natureza não é inteiramente imprevisível, há regras a serem obedecidas. Esta característica ordenada e admirável do universo foi chamada de Cosmos.

Mas por que Jônia, por que nestas terras modestas e bucólicas, estas ilhas e enseadas remotas no leste do Mediterrâneo? Por que não em grandes cidades da Índia e do Egito, Babilônia, China ou América Central? A China possuía uma tradição astronômica milenar; tinha inventado o papel, a imprensa, foguetes, relógios, seda, porcelana e navios de alto-mar. Alguns historiadores dizem que foi por ser uma sociedade muito tradicionalista, não predisposta a aceitar inovações. Por que não a Índia, uma cultura extremamente rica, que pendia para a matemática? Sustentam alguns historiadores, em decorrência de uma fascinação rígida por uma idéia de um universo infinitamente velho condenado a um ciclo sem fim de mortes e renascimentos, de almas e universos, nos quais nada fundamentalmente novo podia jamais acontecer. Por que não as sociedades Maia e Asteca, perfeitas em astronomia e cativadas, como a Índia, pelos grandes números? Declaram alguns historiadores, por terem perdido a aptidão ou o ímpeto pela invenção mecânica. Os Maias e Astecas não inventaram nem — exceto em brinquedos — a roda.

Os jônicos tinham várias vantagens. Jônia era uma região insular. O isolamento, mesmo incompleto, gera a diversidade. Com muitas ilhas diferentes havia uma variedade de sistemas políticos. Nenhuma concentração de poder poderia forçar uma conformidade social e intelectual em todas as ilhas. A livre investigação tornou-se possível. A promoção da superstição não era considerada uma necessidade política. Diferente de muitas outras culturas, os jônicos estavam na encruzilhada das civilizações, e não em um de seus centros. Na Jônia, o alfabeto fenício foi primeiro adaptado ao uso grego, tornando possível a expansão da aptidão para as letras. A escrita não era mais monopólio dos sacerdotes e escribas. Os pensamentos tornavam-se disponíveis à consideração e ao debate. O poder político estava nas mãos dos negociantes, que promoveram ativamente a tecnologia, da qual dependia a sua prosperidade. Foi no leste mediterrâneo que as civilizações africanas, asiáticas e européias, incluindo as grandes culturas do Egito e da Mesopotâmia, se encontraram e se mesclaram em uma confrontação vigorosa e impetuosa de preconceitos, linguagem, idéias e deuses. O que fazer quando nos deparamos com vários deuses diferentes, cada qual clamando pelo mesmo território? O babilônio Marduk e o grego Zeus eram considerados senhor do céu e rei dos deuses. Teremos que decidir se Marduk e Zeus eram realmente o mesmo. Teremos também que decidir, já que possuem atributos bem diferentes, se um dos dois foi meramente inventado pelos sacerdotes. Mas se um o foi, por que não ambos?



Maçaneta de porta em forma de mão, na praça da cidade de Mili, na Samos contemporânea. O respeito pelo trabalho manual foi uma das chaves do Despertar Jônico, centrado em Samos, entre os sexto e quarto séculos A.C. Foto de Ann Druyan.

Foi assim que a grande idéia surgiu, a conscientização de que deveria haver um meio de se saber do mundo sem a hipótese divina, que deveriam existir princípios, forças, leis da natureza através dos quais o mundo podia ser compreendido sem se atribuir a queda de cada pardal à intervenção direta de Zeus.

Penso que a China, a Índia e a América Central teriam se voltado também para a ciência se tivessem tido um pouco mais de tempo. As culturas não se desenvolvem no mesmo ritmo ou evoluem através das mesmas formas. Surgem em épocas diferentes e progridem de diferentes modos. A visão do mundo científico funciona bem, explica muita coisa e ecoa tão harmoniosamente com as partes mais desenvolvidas de nossos cérebros, que no tempo certo, penso eu, virtualmente todas as culturas na Terra, deixadas a seus próprios destinos, descobrem a ciência. Alguma cultura tem que ser a primeira. Quando aconteceu, a Jônia foi o local onde nasceu a ciência.

Esta grande revolução no pensamento humano começou entre 600 e 400 A.C. A chave para a revolução foi a mão. Alguns dos brilhantes pensadores jônicos eram filhos de marinheiros, fazendeiros e tecelões. Estavam acostumados a labutar e a escolher, o que não acontecia com os sacerdotes e escribas de outras nações, os quais, criados na opulência, relutavam em sujar as mãos. Rejeitavam a superstição e eles próprios faziam os milagres. Em muitos casos temos somente fragmentos ou relatos de segunda mão do que aconteceu. As metáforas utilizadas então podem ser obscuras para nós agora. Houve quase que certamente um esforço consciente alguns séculos depois para abafar esses novos conceitos. As figuras eminentes nesta revolução foram homens com nomes gregos, na maioria das vezes não familiares a nós, mas os verdadeiros pioneiros no desenvolvimento da nossa civilização e humanidade.

O primeiro cientista jônico foi Tales, de Mileto, cidade da Ásia, separada da ilha de Samos por um estreito canal. Viajou ao Egito, sendo versado no conhecimento da Babilônia. Diz-se que previu um eclipse solar. Sabia como medir a altura de uma pirâmide pelo comprimento da sombra e pelo ângulo formado pelo Sol com o horizonte, um método utilizado hoje para determinar a altura das montanhas na Lua. Foi o primeiro a provar teoremas de geometria do tipo codificado por Euclides três séculos depois — por exemplo, a proposição que os ângulos da base de um triângulo isósceles são iguais. Há uma clara continuidade do esforço intelectual de Tales e Euclides e a compra, por Isaac Newton, do *Elementos de Geometria* no mercado de Stourbridge em 1663 (pág. 68), evento que acelerou a ciência e a tecnologia modernas.

Tales tentou compreender o mundo sem invocar a intervenção dos deuses. Como os babilônicos, acreditava que o mundo já tinha sido água. Para explicar a terra seca, os babilônicos diziam que Marduk tinha colocado uma esteira na face das águas e amontoado areia sobre ela.* Tales tinha um ponto de

*Há algumas evidências que os mitos da criação dos primeiros sumerianos eram explicações amplamente naturalistas, posteriormente codificadas por volta de 1000 A.C. no *Enuma elish* ("Quando no alto", são as primeiras palavras do

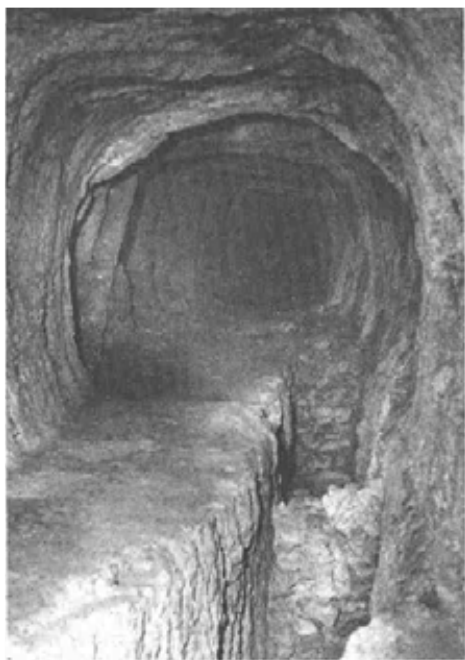
vista semelhante, mas, como disse Benjamin Farrington, "deixou Marduk de fora". Sim, tudo tinha sido água, mas a Terra surgiu dos oceanos por um processo natural, similar, ele julgava, à obstrução que tinha observado no delta do Nilo. Ele pensava realmente que a água era um princípio comum subjacente a toda matéria, assim como hoje em dia dizemos o mesmo de elétrons, prótons e nêutrons, ou dos quarks. Se a conclusão de Tales estava ou não correta não importa, mas sim o seu lema: o mundo não era governado pelos deuses, mas sim pelo trabalho das forças materiais interagindo com a Natureza. Tales trouxe da Babilônia e do Egito as sementes das novas ciências, astronomia e geometria; ciências que germinaram e cresceram no solo fértil da Jônia.

Muito pouco se sabe da vida pessoal de Tales, mas Aristóteles narra uma anedota reveladora em sua *Política*:

[Tales] era censurado por sua pobreza, que se supunha prova de que sua filosofia não tinha utilidade. De acordo com a história, ele sabia pela sua perícia [em interpretar os céus], enquanto ainda era inverno, que haveria uma grande colheita de azeitonas no ano seguinte, de modo que, tendo pouco dinheiro, fazia depósitos pelo uso das prensas de azeitonas em Quio e Mileto, as quais alugava a preços baixos porque ninguém lhe dava ouvidos. Quando chegava a colheita, e havia necessidade de muitas, ele as cedia ao preço que lhe convinha e ganhava uma boa quantia de dinheiro. Assim ele provava que os filósofos do mundo podiam facilmente ficar ricos se quisessem, mas que a sua ambição era outra. Era famoso como sábio político, incitando com sucesso os milesianos a resistir à assimilação por Cresos, Rei da Lídia, mas não foi feliz por seu apelo a uma federação de todos os estados insulares de Jônia contra os lídios.

Anaximandro de Mileto era amigo e colega de Tales, um dos primeiros, que se tem conhecimento, a fazer experiências. Examinando o movimento de uma sombra lançada por uma vareta vertical, determinou com precisão a duração do ano e das estações. Por anos os homens utilizaram varetas para lutar ou matar. Anaximandro utilizou-as para medir o tempo. Foi a primeira pessoa na Grécia a fazer um relógio de sol; um mapa do mundo conhecido e um globo celeste que mostrava os traços das constelações. Acreditava que o Sol, a Lua e as estrelas eram feitos de fogo visto através de buracos que se moviam na abóbada do céu, provavelmente uma idéia bem mais antiga. Sustentou a opinião admirável de que a Terra não era suspensa ou sustentada

poema), mas depois os deuses substituíram a Natureza, e os mitos mostravam uma teogonia e não uma cosmogonia. O *Enuma elish* é uma reminiscência dos mitos japoneses e dos Ainu, nos quais um cosmos originalmente lamacento é batido pelas asas de um pássaro, separando então a terra da água. O mito da criação fidjiana diz: "Rokomautu criou a terra. Ele a recolheu do fundo do oceano, com as mãos cheias, e acumulou-as em pilhas aqui e ali. São as ilhas Fidji". A decantação da terra da água é uma idéia natural e razoável para povos insulares e navegantes.



Túnel de Eupalinos, atravessando o Monte Ampelus, em Samos. É citado por Heródoto como uma das três grandes realizações da engenharia grega (as outras duas, o Templo de Hera e o dique onde agora está a enseada de Pitagorion, também foram construídas na ilha de Samos). Terminada pelos escravos de Polícrates, por volta do ano 525 A.C.

nos céus, mas, para ele, era o centro do universo; uma vez sendo equidistante de todos os pontos da "esfera celeste" não havia força capaz de movê-la.

Argumentava que somos tão desamparados ao nascer, que se os primeiros bebês fossem colocados no mundo e deixados a sós, talvez morressem de imediato. Partindo daí, Anaximandro concluía que os seres humanos surgiram de outros animais com recém-nascidos mais capazes. Propôs a geração espontânea da vida na lama, os primeiros animais tendo sido peixes cobertos por espinhos. Alguns descendentes desses peixes abandonaram eventualmente a água e dirigiram-se para a terra seca, onde evoluíram em outros animais por transmutação de um tipo para outro. Acreditou em um número infinito de mundos, todos habitados e sujeitos a ciclos de dissolução e regeneração. "Nem ele", queixou-se lamentavelmente Santo Agostinho, "nem Tales atribuíram a causa de toda esta atividade sem fim a uma mente divina."

No ano de 540 A.C., ou por volta dele, na ilha de Samos, subiu ao poder um tirano chamado Polícrates. Pareceu começar como fornecedor, entrando depois para a pirataria internacional. Polícrates era um protetor generoso das artes, ciências e engenharia, mas oprimia seu próprio povo. Guerreou contra seus vizinhos. Temeu uma invasão, circundando a capital com uma parede maciça de seis quilômetros de comprimento, cujos remanescentes existem até hoje. Para transportar água de uma nascente distante através das fortificações, ordenou a construção de um grande túnel. Com um quilômetro de extensão, ele perfurava uma montanha. Foram cavadas duas entradas que se encontram quase que com perfeição no meio. O projeto levou quinze anos para ser completado, um testemunho da engenharia civil da época e uma indicação da extraordinária capacidade prática dos jonianos. Houve um outro lado, mais sinistro, no empreendimento: Foi, em parte, construído por escravos capturados pelos navios piratas de Polícrates.

Foi a época de Teodoro, principal engenheiro, a quem os gregos creditavam a invenção da chave, da régua, do esquadro de carpinteiro, do nível, do torno mecânico e do aquecimento central. Por que não há monumentos a esse homem? Os que sonham e especulam as leis da Natureza falam com tecnólogos e engenheiros. Muitas vezes são os mesmos. A teoria e a prática eram uma só.

Na mesma época, na ilha de Cós, bem próximo, Hipócrates estabelecia sua famosa tradição médica, atualmente muito pouco lembrada, a não ser o seu próprio juramento. Era uma escola de medicina prática e eficaz, que Hipócrates insistia em buscar no equivalente contemporâneo da física e da química.* Também apresentava um lado teórico. Em seu livro *Sobre a Medicina Antiga*, Hipócrates escreveu: "Os homens têm a epilepsia como divina, simplesmente porque não a entendem. Mas se chamarem tudo o que não entendem de divino,

*E astrologia, que era então considerada como uma ciência. Em uma passagem típica de Hipócrates, encontramos: "Devem-se proteger contra o nascer das estrelas, principalmente da Estrela-Cão [Sirius], Arcturus e também do caso das Plêiades."

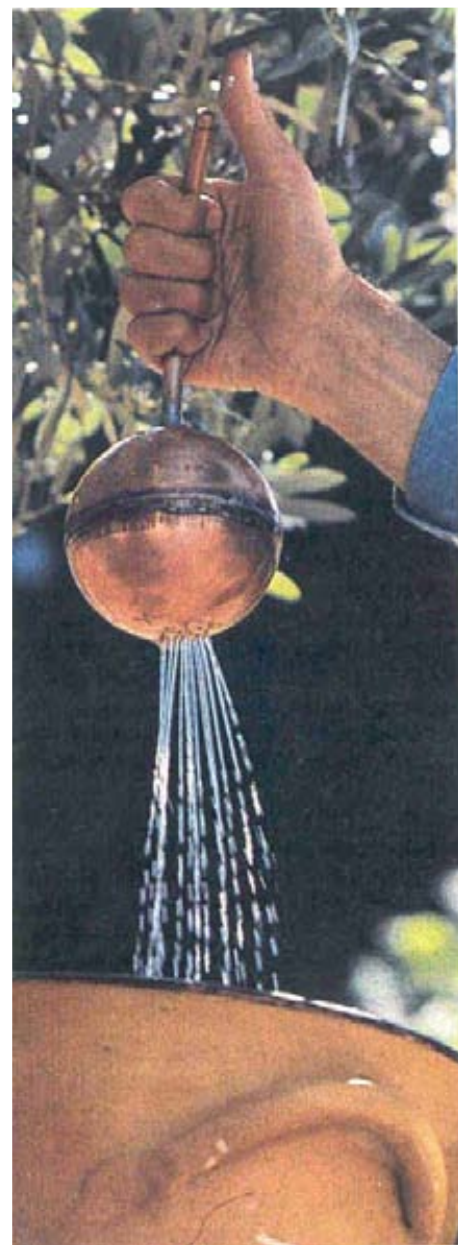
então não haverá fim das coisas divinas".

A influência jônica e o método experimental espalharam-se pela Grécia, Itália e Sicília. Houve uma época em que dificilmente acreditava-se no ar. Sabiam, naturalmente, um pouco sobre a respiração, e pensavam que o vento era a respiração dos deuses. Mas a idéia do ar como uma substância estática e material, embora invisível, era inimaginável. A primeira experiência com o ar registrada foi feita por um médico* chamado Empédocles, que prosperou em torno do ano 450 A.C. Alguns relatos dizem que ele se identificava como um deus. Mas talvez ele fosse tão inteligente que os outros é que o identificavam como tal. Acreditava que a luz se deslocava com muita rapidez, mas não infinitamente rápido. Ensinava que tinha existido uma grande variedade de seres na Terra, mas que muitas raças de seres "foram incapazes de procriar e dar continuação à sua espécie". No caso de todas as espécies existentes, tanto a habilidade quanto a coragem e a velocidade desde o início da sua existência as protegeram e as preservaram. Em sua tentativa para explicar a encantadora adaptação dos organismos aos seus ambientes, Empédocles, como Anaximandro e Demócrito (veja mais adiante), anteciparam claramente alguns aspectos da idéia da evolução pela seleção natural de Darwin.

Empédocles realizou sua experiência com um instrumento caseiro que as pessoas usaram por séculos, a chamada clepsidra ou ladrão, que era utilizada como concha de cozinha. Uma esfera de bronze, com um gargalo aberto e furos na parte inferior, era preenchida, mergulhando-a na água: Se a retirássemos com o gargalo descoberto, a água cairia pelos buracos, formando um pequeno chuveiro, mas se fosse retirada apropriadamente, com um dedo tapando o gargalo, a água ficava retida na esfera até o gargalo ser destapado. Se tentássemos preenchê-la com o gargalo tapado, não acontecia nada. Não podíamos ver qual a substância que existia lá dentro. O que poderia ser? Alguma substância material deveria estar no caminho da água. Empédocles afirmou que só poderia ser o ar. Algo que não podíamos ver exercia uma pressão e frustrava o desejo de preencher um recipiente com água se permanecêssemos com o dedo tampando o gargalo. Empédocles tinha descoberto o invisível. O ar, conjecturou ele, era formado de uma matéria tão refinadamente dividida que não podia ser vista.

Diz-se que Empédocles morreu de um ataque apoteótico no qual saltou dentro da caldeira do vulcão Etna. As vezes, imagino que ele meramente resvalou durante uma aventura corajosa e pioneira na geofísica observacional.

Esta idéia, esta alusão, da existência de átomos foi levada adiante por um homem chamado Demócrito, proveniente da colônia jônica de Abdera, ao norte da Grécia. Abdera era um tipo de cidade-brinquedo. Em 430 A.C., se contássemos uma história de alguém de Abdera, certamente ouviríamos uma risada. Era, de certo modo, a Brooklyn da época. Para Demócrito a vida tinha que ser aproveitada e entendida. A compreensão e a diversão eram a mên-



Reconstrução moderna de uma clepsidra, ou "ladrão de água", através da qual Empédocles deduziu que o ar era composto de inúmeras partículas diminutas.

*A experiência foi realizada em apoio a uma teoria totalmente errada da circulação do sangue, mas a idéia de levar a cabo qualquer experimento para provar a Natureza é uma inovação importante.

ma coisa. Ele disse: "Uma vida sem festa é como um caminho sem hospedaria". Demócrito pode ter vindo de Abdera, mas não era bobo. Acreditava que um grande número de mundos tinha-se formado espontaneamente da matéria difusa no espaço, evoluído e então entrado em decadência. Em uma época que ninguém tinha ouvido falar em crateras de impacto, Demócrito pensava que os mundos colidiam ocasionalmente; acreditava que alguns mundos vagavam sozinhos na escuridão do espaço, enquanto outros eram acompanhados de vários sóis e luas; que alguns mundos eram habitados, e outros não tinham plantas, animais e sequer água; que as formas mais simples de vida surgiram de um tipo de lama primitiva. Ensinava que a percepção, a razão por exemplo de eu pensar que há uma caneta em minhas mãos, era um processo puramente físico e mecânico; que pensar e sentir eram atributos da matéria reunidos de modo suficientemente sutil e complexo, e não de um espírito infundido na matéria pelos deuses.

Demócrito inventou a palavra *átomo*, correspondente grego para "incapaz de ser partido". Os átomos eram as últimas partículas, frustrando para sempre as nossas tentativas de partilas em pedaços menores. Tudo, dizia ele, é uma coleção de átomos, intrinsecamente reunida. Até nós. "Nada existe, a não ser átomos e o vácuo."

Quando cortamos uma maçã, a faca deve passar através dos espaços entre os átomos, dizia Demócrito. Se não houver espaços vazios, nenhum vácuo, a faca encontrará os átomos impenetráveis e a maçã será impenetrável. Após cortar uma fatia de um cone, comparemos o corte das duas secções. Serão iguais as áreas expostas? Não, dizia Demócrito. O declive do cone força um lado da fatia a apresentar o corte da secção ligeiramente menor. Se as duas áreas fossem exatamente iguais, teríamos um cilindro e não um cone. Não importa o quão afiada esteja a faca, os dois pedaços apresentam secções de corte desiguais. Por quê? Porque em uma escala muito pequena, a matéria apresenta uma aspereza irreduzível. Esta escala mínima de aspereza Demócrito identificou com o mundo dos átomos. Seus argumentos não eram os que são utilizados hoje, mas sutis e distintos, derivados da vida diária. E suas conclusões eram fundamentalmente corretas.

Em um exercício Demócrito imaginou o cálculo do volume de um cone ou de uma pirâmide por um grande número de placas marcadas, extremamente pequenas, que vão diminuindo de tamanho da base para o ápice. Ele expôs o problema que, em matemática, é chamado de teoria dos limites. Estava batendo à porta do cálculo diferencial e integral, a ferramenta fundamental na compreensão do mundo que não era, até onde sabemos através de registros que nos chegaram, realmente descoberto até Isaac Newton. Talvez se o trabalho de Demócrito não tivesse sido inteiramente destruído, tivesse havido cálculo na época de Cristo.*

*As fronteiras do cálculo foram posteriormente rompidas por Eudócio e Arquimedes.

Thomas Wright maravilhou-se em 1750 por saber que Demócrito acreditou que a Via-láctea era composta principalmente por estrelas que não são resolvidas: "muito antes da astronomia ter recolhido os benefícios da ciência da óptica melhorada [ele] viu, devemos dizer, através do olho da razão, até o infinito, como os astrônomos mais capazes em épocas mais vantajosas "o fizeram desde então". Além do leite de Hera, passado a Espinha Dorsal da Noite, elevou-se a mente de Demócrito.

Como pessoa, parecia ter alguma coisa de diferente. Mulheres, crianças e o sexo o desconcertavam, em parte porque tiravam o seu tempo para pensar. Valorizava a amizade, sustentava que a alegria era o objetivo da vida e devotou a principal pesquisa filosófica à origem e natureza do entusiasmo. Foi até Atenas para visitar Sócrates e ficou envergonhado de se apresentar. Foi amigo íntimo de Hipócrates. Sentia respeito pela beleza e elegância do mundo físico. Preferia a pobreza na democracia do que a prosperidade na tirania. Acreditou que as religiões que prevaleciam na época eram um mal e que não existia nada, nem almas imortais, nem deuses imortais: "Nada existe, a não ser átomos e o vácuo".

Não há registro que Demócrito tenha sido perseguido por suas opiniões, mas então ele veio de Abdera. Entretanto, em sua época a breve tradição de tolerância pelas visões não convencionais começaram a desgastar-se e depois a romper-se. As pessoas começaram a ser punidas por expor idéias diferentes. A nota de cem dracmas ostenta um retrato de Demócrito. Seus conhecimentos foram suprimidos, sua influência na história, diminuída. Os místicos estavam começando a vencer.

Anaxágoras foi um experimentalista jônico que viveu em torno de 450 a.C. em Atenas. Era um homem rico, indiferente à opulência e apaixonado pela ciência. Perguntaram-lhe qual o propósito da sua vida e ele respondeu: "a investigação do Sol, da Lua e dos céus", resposta de um verdadeiro astrônomo. Realizou uma experiência na qual uma só gota de líquido branco, como creme, não aparecia de modo perceptível no conteúdo de uma grande bilha de líquido escuro, como vinho. Concluiu que havia alterações dedutíveis da experiência muito sutis para serem percebidas diretamente através dos sentidos.

Anaxágoras não era tão radical quanto Demócrito. Ambos eram extremamente materialistas, no tocante a posses, mas no sentido de que a matéria sozinha providenciava as vigas do mundo. Acreditava em uma substância especial da mente, mas não na existência dos átomos. Pensava que os seres humanos eram mais inteligentes do que os outros animais pela existência das mãos, uma idéia bem jônica.

Foi a primeira pessoa a expor com clareza que a Lua brilhava pela luz que refletia e, em consequência, idealizou uma teoria das fases da Lua. Esta doutrina era tão perigosa que os manuscritos que a defendiam tiveram que circular em segredo, um *Samizdat* ateniense. Não sustentava os preconceitos da época que explicavam as fases ou os eclipses lunares pela geometria relativa da Terra, da Lua e do Sol com sua luz própria. Aristóteles, duas gerações depois, gostava de argumentar que estas coisas aconteceram porque era da natureza da Lua apresentar fases e



Nota de 100 dracmas recente, da Grécia, estampada com um átomo simbólico (lítio), um retrato de Demócrito e um moderno instituto de pesquisa nuclear grego que ostenta o seu nome.

eclipses — meramente uma deturpação verbal, uma explicação que não explicava nada.

A crença que prevalecia era de que o Sol e a Lua eram deuses. Anaxágoras sustentava que o Sol e as estrelas eram pedras ardentes. Não sentíamos o seu calor porque estavam muito longe. Também pensavam que a Lua tinha montanhas (correto) e habitantes (errado). Sustentava que o Sol era tão imenso, provavelmente bem maior do que o Peloponeso, quase que o terço sul da Grécia. Seus críticos tinham essas estimativas como excessivas e absurdas.

Anaxágoras foi trazido a Atenas por Péricles, seu ídolo que estava no apogeu, mas também o homem cujos atos levaram à guerra do Peloponeso, que destruiu a democracia ateniense. Péricles se deleitava com a filosofia e a ciência, e Anaxágoras foi um de seus principais confidentes. Alguns pensam que, neste papel, Anaxágoras contribuiu significativamente para a grandiosidade de Atenas. Mas Péricles tinha problemas políticos. Era muito poderoso para ser atacado diretamente, de modo que seus inimigos atacavam os que o rodeavam. Anaxágoras foi condenado e aprisionado por crime religioso de impiedade, porque tinha ensinado que a Lua era feita de matéria comum e era um lugar, e que o Sol era uma pedra vermelha e quente no céu. O bispo John Wilkins comentou, em 1638, sobre esses atenienses: "Estes idólatras zelosos [proferem] uma grande blasfêmia transformando o seu Deus em uma pedra, não obstante serem tão sem sentido em sua adoração de ídolos e fazer de uma pedra o seu Deus". Parece que Péricles trabalhou para conseguir o relaxamento da prisão de Anaxágoras, mas era tarde. Na Grécia as tendências estavam se modificando, embora a tradição jônica tenha continuado no Egito alexandrino por duzentos anos.

Os grandes cientistas, de Tales a Demócrito e Anaxágoras, foram geralmente descritos nos livros de filosofia ou de história como pré-socráticos, como se a sua principal função tivesse sido sustentar a essência filosófica até Sócrates, Platão e Aristóteles, e talvez influenciá-los um pouco. Ao invés disto, os jônicos antigos representam uma tradição diferente e bem contraditória, encontrando-se em um aspecto de acordo com a ciência moderna. Pela sua influência ter sido poderosa somente por dois ou três séculos, houve uma perda irreparável para todos os seres humanos que viveram entre o Despertar Jônico e o Renascimento Italiano.

Talvez o elemento mais influente jamais associado a Samos tenha sido Pitágoras,* um contemporâneo de Polícrates, no século VI A.C. De acordo com a tradição local, ele viveu por algum tempo em uma caverna no monte Kerkis e foi a primeira pessoa na história do mundo a deduzir que a Terra era uma esfera. Talvez tenha deduzido isto por analogia com a Lua e o

*O século VI A.C. foi uma época de tremenda agitação intelectual e espiritual no planeta. Não foi somente o tempo de Tales, Anaximandro, Pitágoras e outros jônicos, mas também a época do faraó egípcio Necho que proporcionou a circunavegação da África; de Zoroastro na Pérsia; Confúcio e Lao-tse na China; dos profetas judeus em Israel, Egito e Babilônia; e do Gautama Buddha na Índia. É difícil pensar nestas atividades juntas sem um relacionamento entre elas.

Sol, ou notado a sombra curva da Terra na Lua durante um eclipse lunar, ou reconhecido que, quando os navios deixavam Samos e se dirigiam para o horizonte, seus mastros desapareciam por último.

Ele ou seus discípulos descobriram o teorema pitagoriano: a soma dos quadrados dos catetos de um triângulo retângulo é igual ao quadrado da hipotenusa. Pitágoras enumerou os exemplos deste teorema e também desenvolveu um método de dedução matemática para prová-lo genericamente. A tradição moderna do argumento matemático, essencial a todas as ciências, deve muito a Pitágoras. Foi ele o primeiro a usar a palavra *Cosmos* com a conotação de um universo bem ordenado e harmonioso, um mundo acessível à compreensão humana.

Muitos jônicos acreditavam que a harmonia do universo seria acessível através da observação e das experiências, método que domina a ciência de hoje. Contudo, Pitágoras desenvolveu um método bem diferente. Ensinou que as leis da Natureza podiam ser deduzidas pelo pensamento puro. Eles e seus seguidores não eram fundamentalmente experimentalistas.* Eram matemáticos e totalmente místicos. Segundo Bertrand Russell, em uma passagem talvez desumana, Pitágoras "fundou uma religião na qual os dogmas principais eram a transmigração das almas e o pecado de comer feijões. Sua religião foi formada segundo princípios religiosos que, aqui e ali, adquiriram o controle do Estado e estabeleceram uma regra para os santos. Mas os renegados ansiavam por feijão, e mais cedo ou mais tarde se rebelaram".

Os pitagóricos se realizaram na certeza da demonstração matemática, de um mundo puro e imaculado acessível ao intelecto humano, um *Cosmos* no qual os lados de triângulos retângulos obedeciam plenamente às relações matemáticas simples. Era um contraste espantoso com a realidade desordenada do mundo cotidiano. Acreditavam que na sua matemática tinham vislumbrado uma realidade perfeita, um domínio dos deuses, no qual o nosso familiar nada mais era do que uma reflexão imperfeita. Na famosa parábola da caverna de Platão, imaginamos os prisioneiros amarrados de uma forma tal que só viam as sombras dos passantes e acreditavam serem elas a realidade, nunca supondo a realidade complexa acessível se pudessem virar suas cabeças. Os pitagóricos influenciaram muitíssimo Platão e posteriormente o Cristianismo.

Não defendiam a confrontação livre de pontos de vista conflitantes. Pelo contrário, como todas as religiões ortodoxas,



Antiga moeda samiana do terceiro século D.C. com uma representação de Pitágoras e a legenda grega: "Pitágoras de Samos". Reproduzida por cortesia da Administração do British Museum.

*Embora tenha havido algumas exceções bem-vindas. A fascinação pitagórica com razões inteiras em harmonias musicais parece estar claramente baseada na observação, ou mesmo na experiência com os sons emitidos por cordas esticadas. Empédocles foi, pelo menos em parte, um pitagórico. Um dos alunos de Pitágoras, Alcmaeon, foi a primeira pessoa que se sabe ter dissecado um corpo humano; distinguiu as artérias das veias e foi o primeiro a descobrir o nervo óptico e as trompas de Eustáquio, e identificou o cérebro como a sede do intelecto (uma controvérsia posteriormente negada por Aristóteles, que colocou a inteligência no coração, e depois confirmada por Herófilo de Calcedônia). Também descobriu a embriologia. Mas a inclinação de Alcmaeon para manusear corpos não foi compartilhada pela maioria de seus colegas pitagóricos posteriores.



Os cinco sólidos perfeitos de Pitágoras e Platão, em uma saliência fora de uma caverna no cume do Monte Kerkis, em Samos, no qual, de acordo com a tradição local, Pitágoras viveu. Os sólidos na saliência são o tetraedro, o cubo, o octaedro e o icosaedro. Sobre o cubo está, representando a Terra, o dodecaedro, misticamente associado pelos pitagóricos aos céus.

praticavam uma rigidez de costumes que evitava que incorressem em erros. Cícero escreveu:

No debate não é o peso da autoridade, como força de argumento, que deve ser exigido. Na realidade, a autoridade daqueles que exercem a profissão de ensinar é geralmente um obstáculo positivo para aqueles que desejam aprender; cessam o julgamento próprio e têm o que percebem como um veredicto do seu domínio como o ponto final da questão. Não estou disposto a aprovar a prática tradicionalmente atribuída aos Pitagóricos que, quando questionados sobre os pilares de qualquer defesa que desenvolveram durante um debate, dizem estar acostumados a replicar: "O Mestre assim o disse", o "Mestre" sendo Pitágoras. A potência de uma opinião já decidida torna a autoridade predominante insustentável pela razão.

Os Pitagóricos eram fascinados pelos sólidos regulares, objetos simétricos tridimensionais, cujos lados são polígonos regulares. O cubo é o exemplo mais simples, tendo seis quadrados como lados. Há um número infinito de polígonos regulares (a prova disto, um famoso exemplo de raciocínio matemático, é mostrado no Apêndice 1). Pela mesma razão, o conhecimento de um sólido chamado dodecaedro, possuindo doze pentágonos como lado, pareceu perigoso a eles. Foi misticamente associado ao Cosmos. Os outros sólidos regulares foram identificados, de alguma forma, como os quatro "elementos" então imaginados de constituírem o mundo; terra, fogo, ar e água. O quinto sólido regular deveria então, pensaram, corresponder a algum quinto elemento que poderia somente ser a substância dos corpos celestes. (Esta noção de uma quinta essência é a origem da palavra *quintessência*). O povo deveria ser mantido sem conhecimento do dodecaedro.

Apaixonados pelos números inteiros, os Pitagóricos acreditavam que todas as coisas podiam ser derivadas deles e certamente todos os outros números. Surgiu uma crise na doutrina quando descobriram que a raiz quadrada de dois (a razão entre a diagonal e o lado de um quadrado) era irracional, que $\sqrt{2}$ não podia ser expressa precisamente como a razão de dois números inteiros quaisquer, não importando serem números grandes. Ironicamente esta descoberta (adiante reproduzida no Apêndice 1) foi utilizada como recurso no teorema pitagórico. Originalmente, "irracional" significa somente que um número não pode ser expresso como uma razão. Para os Pitagóricos isto teve um significado aterrador, uma alusão de que o seu mundo não fazia sentido, enquadrando-se no significado atual de "irracional". Ao invés de partilhar estas importantes descobertas matemáticas, os Pitagóricos retiraram o conhecimento da $\sqrt{2}$ do dodecaedro. O mundo exterior não devia saber.* Mesmo hoje

*Um pitagórico chamado Hippasus publicou o segredo da "esfera com doze pentágonos", o dodecaedro. Quando faleceu em um naufrágio, seus companheiros advertiram sobre a justiça do seu castigo. Seu livro não foi salvo.

em dia encontramos cientistas que se opõem à popularização da ciência: o conhecimento sagrado deve ser guardado no culto, intocado pela compreensão pública.

Os pitagóricos acreditavam que a esfera era "perfeita", estando todos os pontos na sua superfície à mesma distância do centro. Os círculos também eram perfeitos. E insistiam que os planetas se moviam em caminhos circulares a velocidades constantes. Pareciam acreditar que moverem-se mais devagar ou mais rápido em locais diferentes na órbita era improvável; o movimento não-circular era de alguma forma imperfeito, não apropriado aos planetas que, longe da Terra, eram também tidos como "perfeitos".

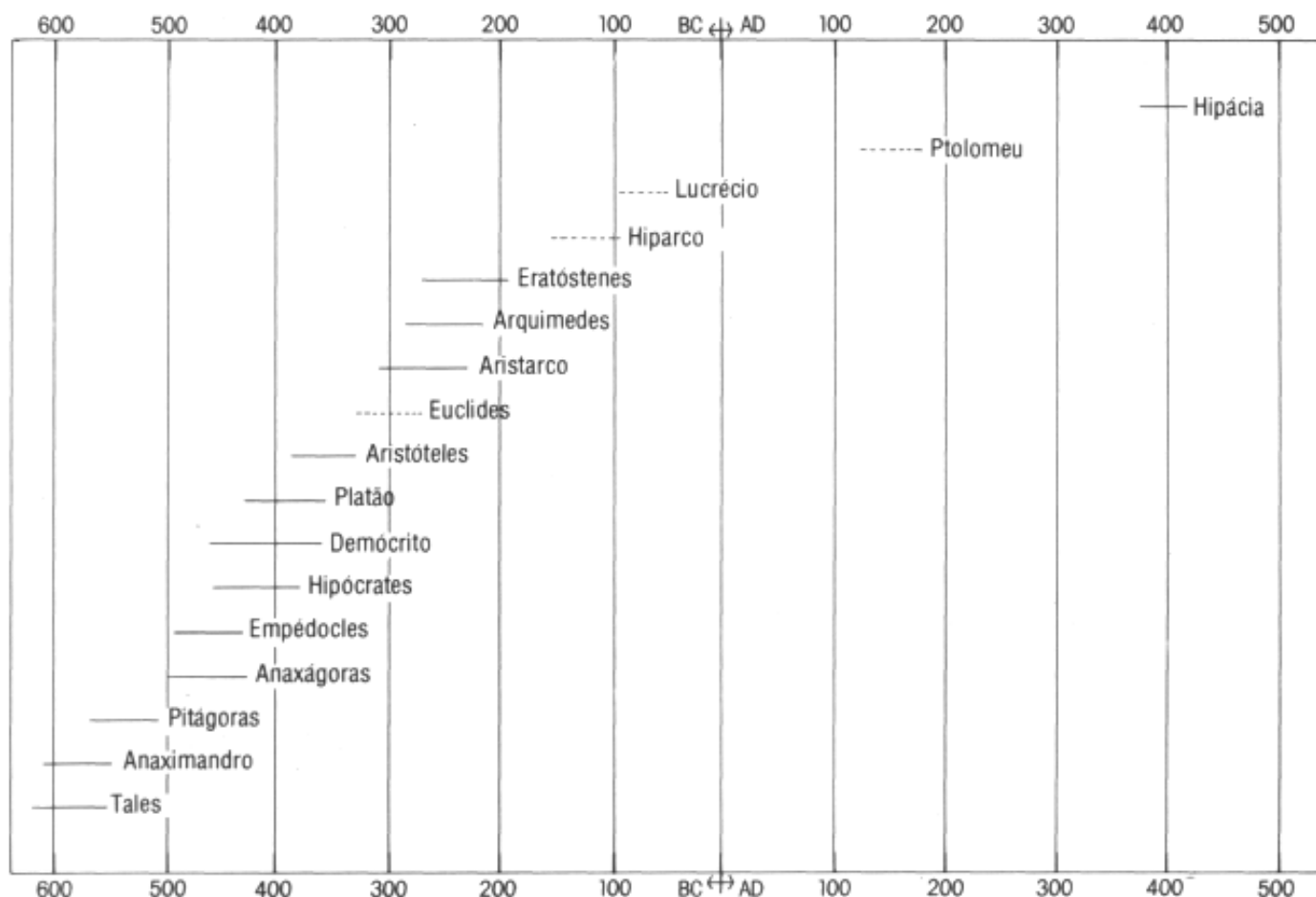
Os prós e contras da tradição pitagórica podem ser constatados com clareza no trabalho de Johannes Kepler (Capítulo III). A idéia de um mundo perfeito e místico, não detectado pelos sentidos, foi prontamente aceita pelos primeiros cristãos e foi um componente importante nas primeiras experiências de Kepler. Por um lado, este estava convencido de que as harmonias matemáticas existiam na natureza (escreveu que "o universo era impresso com adornos das proporções harmônicas"), que as simples relações numéricas deviam determinar o movimento dos planetas; por outro, novamente seguindo os pitagóricos, acreditou que somente o movimento circular uniforme era admissível. Descobriu repetidamente que os movimentos planetários observados não podiam ser explicados desta forma, e tentou várias vezes uma saída. Mas diferente de muitos pitagóricos, acreditou em observações e experiências no mundo real. Eventualmente as observações detalhadas do movimento aparente dos planetas forçaram-no a abandonar a idéia de caminhos circulares e a conscientização de que os planetas se deslocavam em elipses. Kepler foi inspirado em sua procura pela harmonia do movimento planetário e retardado por mais de uma década pelos atrativos da doutrina pitagórica.

Um desdém pela prática varreu o mundo antigo. Platão instigou os astrônomos a pensarem sobre os céus, mas a não perder tempo observando-os. Aristóteles acreditava que: "As classes inferiores são, por natureza, escravas, sendo melhor para elas, como para todos os inferiores, que estejam sob as ordens de um mestre ... O escravo partilha sua vida com a do seu senhor...; o operário é menos unido ao senhor, mas somente atinge a excelência na proporção em que se torna um escravo. O tipo mais insignificante de mecânica possui uma mão-de-obra escrava separada e especial." Plutarco escreveu: "Se o seu trabalho o supre, não há necessidade de aquele que o executou ser digno de elogios". A opinião de Xenofonte era: "As chamadas artes mecânicas carregam um estigma social e são diretamente desonrosas em nossas cidades". Como resultado dessas atitudes, o brilhante e promissor método experimental jônico foi abandonado por duzentos anos. Sem experimentos, não havia como escolher entre as hipóteses e nenhum meio para a ciência progredir. A mácula antiempírica dos pitagóricos sobreviveu até hoje. Por quê? De onde surgiu esta aversão pela experiência?

Uma explicação do declínio da ciência antiga foi exposta pelo historiador da ciência, Benjamin Farrington: a tradição mercantil que levou à ciência jônica, também conduziu à economia baseada na escravidão. Possuir escravos era o caminho para a opulência e o poder. As fortificações de Polícrates foram obras de escravos. Atenas, na época de Péricles, Platão e Aristóteles possuía uma vasta população escrava. Todos os bravos atenienses falavam de uma democracia aplicada somente a uns poucos privilegiados. Caracteristicamente os escravos faziam o trabalho manual. A experimentação científica é um trabalho manual do qual os donos de escravos estavam e se colocavam distantes, enquanto somente estes senhores polidamente chamados de gentis-homens em algumas sociedades tinham tempo para a ciência. Então, quase ninguém fazia ciência. Os jônicos eram perfeitamente capazes de fazer máquinas, mas a disponibilidade de escravos destruiu o motivo econômico para o desenvolvimento da tecnologia. Assim, a tradição mercantil contribuiu para o grande despertar jônico por volta de 600 A.C. e a existência da escravidão talvez tenha sido a causa do seu declínio dois séculos depois. Que grande ironia!

Há tendências similares aparentemente por todo o mundo. O ponto culminante na astronomia original chinesa ocorreu em torno de 1280, com o trabalho de Kuo Shou-ching, que se utilizou de uma linha de serviço de 1500 anos e ampliou tanto os instrumentos astronômicos quanto as técnicas matemáticas para computação. Pensa-se, geralmente, que a astronomia chinesa entrou depois em um declínio acentuado. Nathan Sivin acredita que a razão está, pelo menos em parte, "no aumento da rigidez das atitudes da elite, de modo que os bem-educados eram menos inclinados a serem curiosos a respeito das técnicas e desejavam cada vez menos valorizar a ciência, como uma busca apropriada ou um "gentil-homem". A ocupação de astrônomo tornou-se uma profissão hereditária, uma inconsistência prática com a ampliação do campo do objetivo. Além disso, a "responsabilidade pela evolução da astronomia permaneceu centrada na corte imperial, e foi, em sua maior parte, abandonada aos técnicos estrangeiros", principalmente jesuítas, que introduziram Euclides e Copérnico para os chineses, mas que após a censura do seu livro mostraram um interesse em encobrir e suprimir a cosmologia heliocêntrica. Talvez a ciência tenha sucumbido na Índia e nas civilizações Maia e Asteca pelas mesmas razões que declinou na Jônica, a penetração da economia escrava. Um problema (político) atual no Terceiro Mundo contemporâneo é que as classes atuais tendem a levar as crianças ricas ao interesse voltado para o status quo, e não terem o hábito de trabalhar com as mãos ou de desafiar o saber convencional. A ciência tem sido lenta para criar raízes.

Platão e Aristóteles tinham uma posição confortável na sociedade de escravos. Ofereciam justificativas para a opressão. Serviam a tiranos. Ensinavam a alienação do corpo em relação à mente (um ideal bem natural em uma sociedade de escravos); separavam a matéria do pensamento, divorciavam a Terra dos céus, divisões que dominariam o pensamento ocidental por mais de vinte séculos. Platão, que acreditava que "todas as



coisas estão repletas de deuses", utilizou realmente a metáfora da escravidão para unir a sua política à sua cosmologia. Diz-se que incitou a queima de todos os livros de Demócrito (teve a mesma recomendação quanto aos de Homero) talvez porque este não tivesse reconhecido as almas e deuses imortais, ou o misticismo pitagórico, ou porque tivesse acreditado em um número infinito de mundos. Diz-se que dos setenta e três livros escritos por Demócrito, nenhum permaneceu. Tudo o que temos conhecimento são fragmentos, principalmente sobre ética e justificativas não originais. O mesmo se aplica a quase todos os outros antigos cientistas jônicos.

No reconhecimento de Pitágoras e Platão que o Cosmos é cognoscível, e que há um suporte matemático em relação à Natureza, existe um grande avanço da ciência. Mas, na supressão dos fatos inquietantes, a idéia de que a ciência deveria ser guardada para uma elite restrita, a aversão pela experiência, a aceitação do misticismo e a fácil aceitação das sociedades com escravos, eles atrasaram o empreendimento humano. Após uma longa hibernação mística, na qual as ferramentas da inquisição científica permaneceram presas, o acesso jônico, em alguns casos transmitido pelos estudantes da biblioteca de Alexandria, foi finalmente redescoberto. O mundo ocidental despertou. A experimentação e a inquisição livre tornaram-se mais uma vez respeitadas. Livros e fragmentos esquecidos voltaram a ser lidos. Da Vinci, Colombo e Copérnico foram inspirados por

Duração de vida aproximada dos jônicos e outros cientistas gregos entre os séculos VII A.C. e o V D.C. O declínio da ciência grega está indicado pelos relativamente poucos indivíduos que apareceram após o século I A.C.

ou independentemente refizeram partes desta antiga tradição grega. Há em nossa época muito da ciência jônica, embora não na política e nem na religião, e uma bela porção de inquisição livre e audaciosa. Mas há também superstições espantosas e ambigüidades eticamente mortas. Somos divididos por tradições antigas.

Os seguidores de Platão e seus sucessores cristãos mantiveram a noção peculiar de que a Terra era contaminada e de alguma forma suja, enquanto os céus eram perfeitos e divinos. A idéia fundamental de que a Terra era um planeta e que éramos cidadãos do universo foi rejeitada e esquecida. A idéia foi proposta primeiramente por Aristarco, nascido em Samos três séculos depois de Pitágoras. Aristarco foi um dos últimos cientistas jônicos. Naquela época, o centro do esclarecimento intelectual tinha-se deslocado para a grande Biblioteca de Alexandria. Aristarco foi a primeira pessoa a sustentar que o Sol, e não a Terra, era o centro do sistema planetário, que todos os planetas giravam em torno do Sol e não em torno da Terra. Tipicamente seus apontamentos sobre esses assuntos perderam-se. Pelo tamanho da sombra da Terra, na Lua durante um eclipse lunar, ele deduziu que o Sol deveria ser muito maior do que a Terra e que estava bem distante. Deve ter deduzido que seria um absurdo um corpo tão grande como o Sol girar em torno de um bem menor como a Terra. Colocou o Sol no centro, fez a Terra girar em torno do seu eixo uma vez a cada dia, e em torno do Sol uma vez a cada ano.

É a mesma idéia que associamos ao nome de Copérnico, que Galileo descreveu como "o restaurador e confirmador", não inventor da hipótese heliocêntrica.* Por 1800 anos entre Aristarco e Copérnico ninguém soube a disposição correta dos planetas, embora tivesse sido exposta perfeitamente e com clareza em torno de 280 A.C. A idéia ultrajou alguns dos contemporâneos de Aristarco. Houve vozes que se levantaram como Anaxágoras, Bruno e Galileo, e que foram condenados por impiedade. A resistência a Aristarco e Copérnico, um tipo de geocentrismo na vida diária, permanece até hoje — ainda nos referimos ao nascer e ao pôr-do-Sol. Passaram-se 2.200 anos desde Aristarco, e em nossas frases ainda pretendemos dizer que a Terra não gira.

A separação entre os planetas, quarenta milhões de quilômetros entre a Terra e Vênus, os mais próximos entre si, seis bilhões de quilômetros até Plutão, teria deixado os gregos atônitos, que se sentiam ultrajados com a controvérsia de que o Sol seria tão grande quanto o Peloponeso. Era mais natural pensar-se no sistema solar como local e muito mais compacto. Se eu

*Copérnico talvez tenha tirado sua idéia das leituras de Aristarco. Textos clássicos descobertos recentemente foram uma fonte de grande excitação nas universidades italianas e que relatavam a ida de Copérnico a uma escola de médicos. No manuscrito deste livro, Copérnico mencionou a prioridade de Aristarco, mas emitiu a citação quando da impressão do livro. Em uma carta ao Papa Paulo III Copérnico disse: "Segundo Cícero, Nicetas pensou que a Terra movia-se... Segundo Plutarco [que debateu sobre Aristarco]... outros certamente sustentaram a mesma opinião. Conseqüentemente, concebi a possibilidade e comecei a meditar sobre a mobilidade da Terra."

colocar meu dedo diante de meus olhos e examiná-lo primeiro com um olho e depois com o outro, a mim parecerá que ele terá se movido contra o fundo. Quanto mais perto estiver o dedo, mais parecerá que ele se move. Posso estimar a distância em que está o meu dedo pelo movimento aparente, ou paralaxe. Se os meus olhos fossem mais separados, o meu dedo pareceria se mover ainda mais. Quanto maior a linha base em que forem feitas as observações, maior a paralaxe e melhor a possibilidade para se medir a distância de objetos remotos. Mas vivemos em uma plataforma móvel, a Terra que a cada seis meses move-se de uma extremidade da sua órbita para a outra, a 300.000.000 de quilômetros. Se olharmos para o mesmo objeto celeste fixo seis meses depois, seríamos capazes de medir distâncias muito grandes. Aristarco suspeitou serem as estrelas sóis distantes. Colocou a Sol "entre" as estrelas fixas. A ausência de paralaxe estelar detectável, enquanto a Terra se move, sugere que as estrelas estão muito mais distantes que o Sol. Antes da invenção do telescópio, a paralaxe até das estrelas mais próximas era muito pequena para ser detectada. Somente no século XIX é que a paralaxe de uma estrela foi medida. Tornou-se então claro, diretamente decorrente da geometria grega, que as estrelas estavam a anos-luz de distância.

Existe um outro modo de se medir a distância das estrelas que os jônicos eram inteiramente capazes de ter descoberto, embora até onde saibamos, não o fizeram. Todos sabem que quanto mais longe estiver um objeto, menor ele parecerá. Esta proporção inversa entre o tamanho aparente e a distância é base da perspectiva na arte e na fotografia. Então, quanto mais longe estivermos do Sol, menor e mais fraco eles nos parecerá. A que distância estaremos do Sol para que ele nos pareça tão pequeno e fraco como uma estrela? De modo equivalente, qual deverá ser o tamanho de um pedaço do Sol para ser tão brilhante como uma estrela?

Uma das primeiras experiências para responder a esta pergunta foi feita por Christiaan Huygens, bem dentro da tradição jônica. Huygens fez pequenos orifícios em uma placa de bronze, segurou-a contra o Sol e perguntou-se qual deles tinha o brilho que lembrava o da estrela Sirius que ele havia visto na noite anterior. O orifício tinha, efetivamente*, $1/28.000$ do tamanho aparente do Sol. Então, concluiu, Sirius deveria estar 28.000 vezes mais longe de nós do que o Sol, ou cerca de meio ano-luz de distância. É muito difícil lembrar-se do brilho de uma estrela muitas horas depois de tê-la visto, mas Huygens lembrou-se muito bem. Se ele tivesse sabido que Sirius era intrinsecamente mais brilhante do que o Sol, teria chegado quase exatamente à resposta certa. Sirius está a 8,8 anos-luz de distância. O fato de Aristarco e Huygens terem se utilizado de dados imprecisos e chegado a respostas imperfeitas não importa. Eles explicaram seus métodos com tal clareza que, quando observações melhores se tornaram possíveis, as respostas mais precisas puderam ser encontradas.

*Huygens realmente utilizou um filtro de vidro para reduzir a quantidade de luz que passava pelos buracos.



Uma reconstrução simples da placa perfurada de bronze, utilizada por Christiaan Huygens no século XVII, para determinar a distância das estrelas.

Entre Aristarco e Huygens, os seres humanos responderam à pergunta que tanto me intrigou quando menino do Brooklyn: O que eram as estrelas? A resposta é: As estrelas são sóis poderosos, a anos-luz de distância na vastidão do espaço interestelar.

O grande legado de Aristarco é que nem nós e nem o nosso planeta desfrutamos de uma posição privilegiada na Natureza. Este conhecimento tem sido aplicado em relação às estrelas e paralelamente a muitos subsídios da família humana, com grande sucesso e oposição invariável. Tem sido responsável por grandes avanços na astronomia, física, biologia, antropologia, economia e política. Pergunto-me se a extrapolação social é a principal razão das tentativas para sua supressão.

O legado de Aristarco foi estendido bem além do reino das estrelas. No final do século XVIII, William Herschel, músico e astrônomo de Jorge III da Inglaterra, completou um projeto de mapear os céus estrelados e descobriu um número aparentemente igual de estrelas em todas as direções ou faixa da Via-láctea; deduziu então, racionalmente, que estávamos no centro da Galáxia.* Um pouco antes da Primeira Guerra Mundial, Harlow Shapley, do Missouri, inventou uma técnica para medir as distâncias dos aglomerados globulares, estas adoráveis disposições esféricas de estrelas que lembram um enxame de abelhas. Shapley descobriu uma vela-padrão estelar, uma estrela distinguível pela sua variabilidade, mas que sempre apresentava o mesmo brilho médio intrínseco. Comparando a palidez destas estrelas quando descobertas em aglomerados globulares com seu brilho real, como o são determinados pelas representantes próximas, Shapley podia calcular a distância em que elas estavam, como, no campo, podemos determinar a distância de um lampião de brilho intrínseco conhecido pela luz fraca que nos atinge, essencialmente o método de Huygens. Shapley descobriu que os aglomerados globulares não estavam centrados perto dos arredores do Sol, mas em uma região distante da Via-láctea na direção da constelação de Sagitarius, o Arqueiro. Pareceu-lhe muito provável que os aglomerados globulares utilizados na sua investigação, perto de cem deles, orbitavam em torno do centro massivo da Via-láctea.

Shapley teve, em 1915, a coragem de propor que o sistema solar estava nos limites e não próximo ao núcleo da nossa galáxia. Herschel foi iludido pela quantidade copiosa de poeira que obscurecia na direção de Sagitário; ele não tinha como saber do número enorme de estrelas que existiam depois. Agora está bem esclarecido que vivemos perto de 300.000 anos-luz do núcleo galáctico na orla de um braço espiral, onde a densidade local de estrelas é relativamente esparsa. Pode existir quem viva em um planeta cuja órbita gire em torno de uma estrela central em um dos aglomerados globulares de Shapley, ou em uma localizada no núcleo. Estes seres devem sentir pena

*Esta posição privilegiada da Terra, no centro do que era então considerado como centro do universo conhecido, levou A.R. Wallace a assumir uma posição antiaristarquiana, em seu livro *O Lugar do Homem no Universo* (1903) de que o nosso planeta talvez fosse o único habitado.

de nós por nosso punhado de estrelas visíveis a olho nu, pois o céu deles está juncado delas. Próximo ao centro da Via-láctea milhões de estrelas brilhantes são visíveis a olho nu, comparadas aos nossos parques milhares. Nosso Sol ou sóis poderiam se pôr, mas a noite jamais viria.

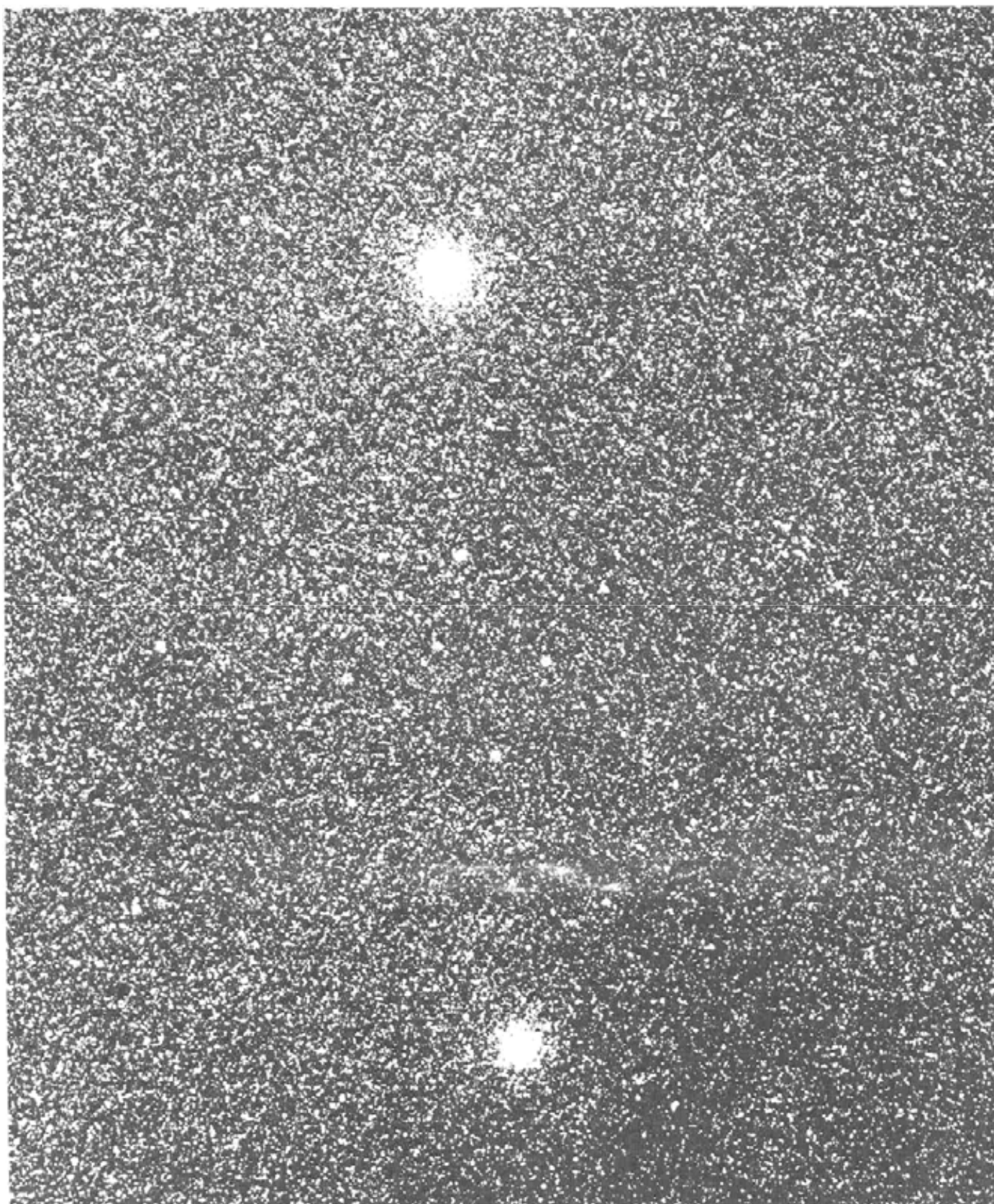
No início do século XV os astrônomos acreditavam que havia somente uma galáxia no Cosmos, a Via-láctea; depois, no século XVIII, Thomas Wright, de Durban, e Immanuel Kant, de Königsberg, tiveram ambos uma premonição que as formas espiraladas luminosas e intensas vistas no telescópio eram outras galáxias. Kant sugeriu explicitamente que a M31 na constelação de Andrômeda era outra Via-láctea composta de um grande número de estrelas, e propôs chamar estes objetos pela frase evocativa de "universos-ilhas". Alguns cientistas divertiram-se com a idéia de que as nebulosas espiraladas não eram universos-ilhas distantes, mas nuvens condensadas de gás interestelar bem mais próximas, talvez a caminho de formar sistemas solares. Para testar a distância das nebulosas espiraladas, foi necessário um grupo de estrelas variáveis intrinsecamente muito mais brilhantes para fornecer uma nova vela-padrão. Descobriu-se que estas estrelas identificadas na M31 por Edwin Hubble, em 1924, eram alarmantemente pálidas, ficando claro que a M31 se encontrava muitíssimo distante, um número agora estimado em um pouco mais de dois milhões de anos-luz. Mas se a M31 está a uma distância destas, não poderá ser uma nuvem de dimensões meramente interestelares; deve ser bem maior, uma galáxia imensa. E as outras galáxias ainda mais pálidas devem estar ainda mais distantes, cem bilhões delas salpicadas na escuridão das fronteiras do Cosmos conhecido.

Desde o início da existência dos seres humanos temos procurado pelo nosso lugar no Cosmos. Na infância da nossa espécie (quando nossos ancestrais contemplavam em vão as estrelas), entre os cientistas jônicos da antiga Grécia e agora, temo-nos fixado nestas perguntas: Onde estamos? Quem somos? Descobrimos que vivemos em um planeta insignificante de uma estrela insípida perdida entre dois braços espirais nos confins de uma galáxia, membro de um aglomerado esparsos de galáxias, aconchegado em alguma esquina esquecida de um universo no qual há muito mais galáxias do que pessoas. Esta perspectiva é uma continuação corajosa da nossa propensão de construir e testar modelos mentais de céus; o Sol como pedra vermelha e quente, as estrelas como fogos celestes, a Galáxia como a espinha dorsal da noite.

Desde Aristarco, cada etapa de nossa pergunta tem nos afastado do estágio central no drama cósmico. Não tem havido muito tempo para assimilar estas invenções novas. As descobertas de Shapley e Hubble foram feitas durante a vida de muitas pessoas ainda atuantes hoje. Há alguns que secretamente deploram estas grandes descobertas, que consideram cada passo uma demolição, que no fundo do coração ainda suspiram por um universo cujo centro, foco e ponto de apoio é a Terra. Mas se queremos lidar com o Cosmos devemos primeiro entendê-lo, mesmo se as nossas esperanças, por algum *status* preferen-



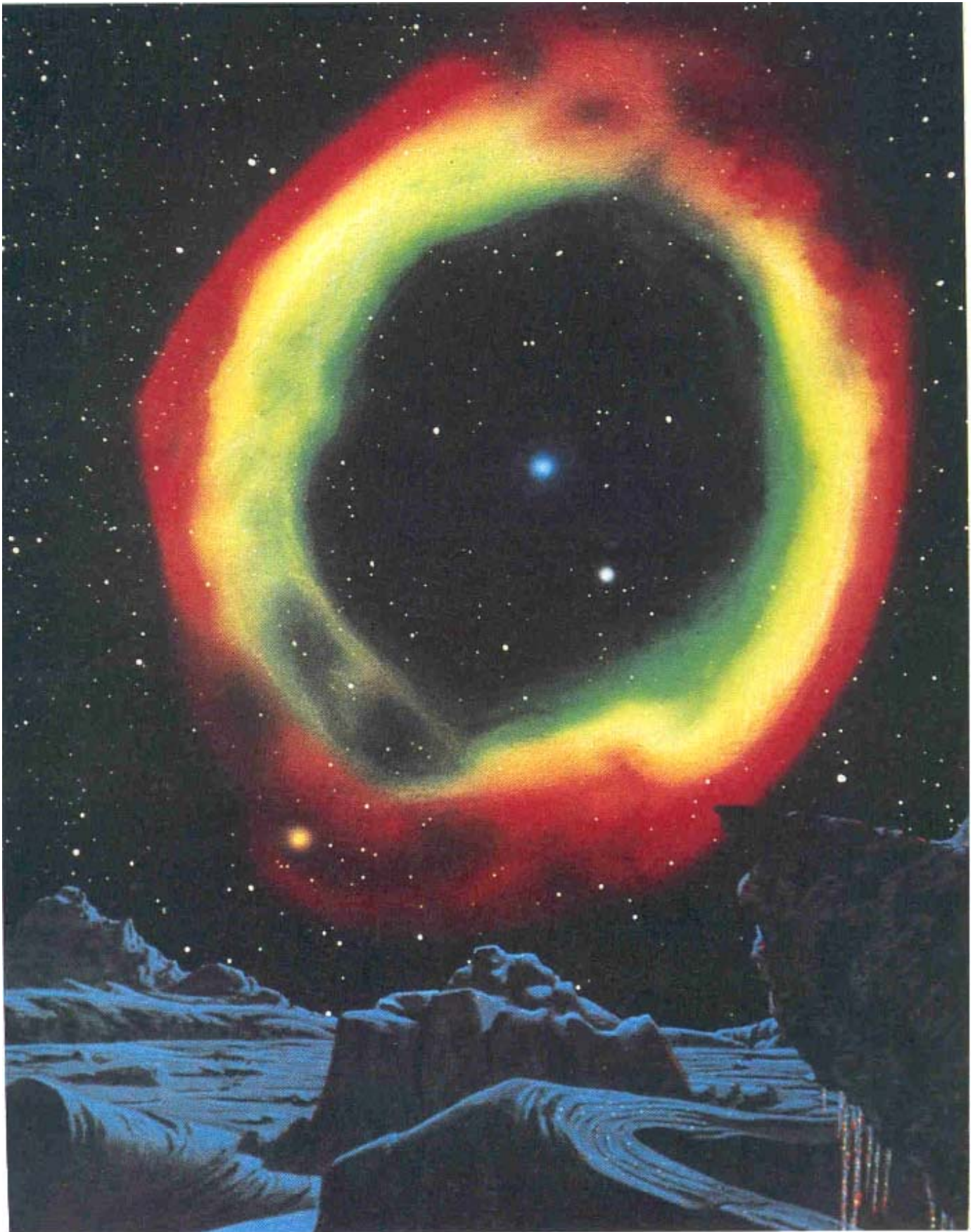
Representação esquemática da Via-láctea vista de perfil, circundada por uma multidão de aglomerados globulares de estrelas, cada um contendo entre cem mil e dez milhões de estrelas. Nesta escala o Sol e a Terra se encontram próximos do bordo externo dos braços espirais, sobressaindo do núcleo galáctico. Criação de Jon Lomberg.



Aglomerados globulares de estrelas gravitam em torno e demarcam o centro massivo da Via-láctea. Muitos estão localizados em um grande halo esférico de estrelas e aglomerados estelares que limitam a nossa galáxia espiral. Relativamente poucos, como estes, estão concentrados no núcleo galáctico. Dos planetas de qualquer um destes sóis, o céu estará resplandecente de estrelas. Estes aglomerados globulares são designados NGC 6522 e NGC 6528, NGC sendo a abreviatura em inglês de "Novo Catálogo Geral", uma compilação de aglomerados e galáxias. O termo *novo* foi usado quando compilado pela primeira vez em 1888. Cortesia de Kitt Peak National Observatory. © Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., the Kitt Peak National Observatory.

cialmente imerecido durante o processo, se esboroarem. O entendimento de onde vivemos é uma pré-condição essencial para aproveitar nossas imediações. Saber como são outros locais próximos também ajuda. Se lutamos para que o nosso planeta seja importante, há alguma coisa que podemos fazer por ele. Tornamos o nosso mundo significativo pela coragem de nossas perguntas e pela profundidade de nossas respostas.

Embarcamos em nossa viagem cósmica com uma pergunta formulada no despontar da nossa espécie e em cada geração perguntada outra vez com um desejo não diminuído: O que são as estrelas? Em nossa natureza está a semente do anseio da busca. Começamos como povos errantes e ainda o somos. Retardamos já o bastante nos confins do oceano cósmico. Estamos prontos, pelo menos, para desfraldar as velas em direção às estrelas.



Planeta gelado hipotético no sistema da Nebulosa Anular em Lira. A estrela central espalhou sua atmosfera externa produzindo um invólucro multicolorido em lenta expansão de gás incandescente. Este sistema está a 1500 anos-luz de distância, um objetivo para a exploração humana em um futuro distante. Criação de David Egge, 1979.



Capítulo VIII

VIAJANDO NO ESPAÇO E NO TEMPO

Ninguém viveu mais do que uma criança morta, e Methusula* morreu jovem. O Céu e a Terra têm o mesmo tempo que Eu, e as dez mil faces são uma só.

— Chuang Tsu, em torno de 300 A.C., China

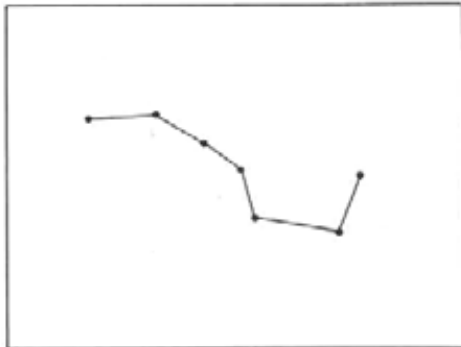
Amamos tão apaixonadamente as estrelas que não temos medo da noite.

— Epitáfio na lápide de dois astrônomos amadores

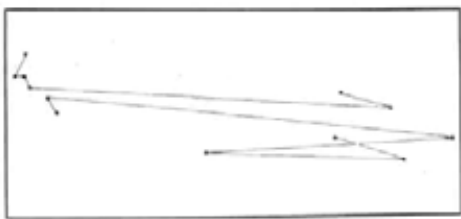
As estrelas garatugeiam sagas geladas diante de nossos olhos,
Cantos fulgurantes do espaço não conquistado.

— Hart Crane, *A Ponte*

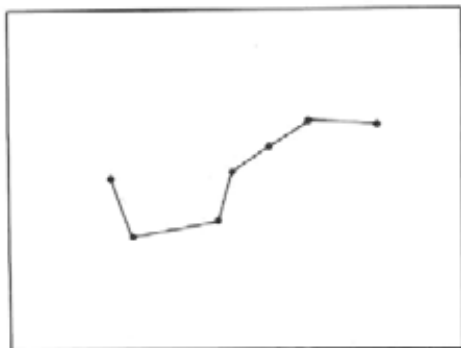
*Na verdade P'eng Tsu, o equivalente chinês.



A Ursa Maior vista da Terra



De lado



De costas.

A Ursa Maior, como é vista da Terra (*ao alto*), de lado (*no centro*) e de costas (*embaixo*). As duas últimas figuras seriam vistas se fôssemos capazes de viajar a locais apropriados, a cerca de 150 anos-luz de distância.

O *avanço e recuo* da rebentação é produzido em parte pelas marés. A Lua e o Sol estão muito distantes, mas a sua influência gravitacional é bem real e visível na Terra. A praia nos lembra o espaço. Grãos de areia finos, todos mais ou menos de tamanho uniforme, produtos de rochas maiores impelidas e friccionadas, desgastadas e erodidas através dos tempos, levadas pelas ondas e aquecidas pela Lua e pelo Sol distante. A praia também nos fala do tempo. O mundo é bem mais velho do que a espécie humana.

Um punhado de areia contém cerca de 10.000 grãos, mais do que o número de estrelas que podemos ver a olho nu em uma noite clara. Mas as estrelas visíveis são somente uma fração mínima de estrelas existentes. O que vemos à noite são meros laivos das mais próximas. Enquanto isso o Cosmos é rico, o número total de estrelas é maior do que todos os grãos de areia de todas as praias do planeta Terra.

A despeito dos esforços dos antigos astrônomos e astrólogos para retratar os céus, uma constelação nada mais é do que um grupo arbitrário de estrelas, composto de estrelas intrinsecamente pálidas que a nós parecem brilhantes porque estão próximas, e outras intrinsecamente brilhantes que estão um pouco mais distantes. Todos os locais na Terra estão, com alta precisão, na mesma distância de qualquer estrela. Este é o motivo pelo qual os padrões estelares em uma determinada constelação não se alteram quando nos locomovemos, digamos da Ásia Central soviética para o meio-oeste americano. Astronomicamente a URSS e os EEUU são o mesmo lugar. As estrelas em uma constelação estão todas tão longe que não conseguiremos reconhecê-las como uma configuração tridimensional enquanto estivermos atados à Terra. A distância média entre as estrelas é de alguns anos-luz, sendo um ano-luz cerca de dez trilhões de quilômetros. Para que os padrões das constelações mudem, devemos atravessar distâncias comparáveis às que separam as estrelas, devemos nos aventurar a atravessar anos-luz. Então, algumas estrelas próximas parecerão mover-se para fora das constelações, outras para dentro, e sua configuração se alterará drasticamente.

Nossa tecnologia é, até agora, totalmente incapaz de projetar viagens interestelares tão grandes, pelo menos em tempo razoável. Nossos computadores podem ser programados sobre as posições tridimensionais das estrelas próximas, e podemos solicitar um esquema de uma pequena viagem, a circunavegação de uma coleção de estrelas brilhantes que constituem, por exemplo, a Ursa Maior, e verificar as mudanças nas constelações. Unimos as estrelas em constelações típicas, nos desenhos formados pelas ligações de pontos celestes usuais. Quando alteramos a nossa perspectiva, vemos que suas formas aparentes se distorcem muitíssimo. Os habitantes dos planetas das estrelas distantes presenciam constelações bem diferentes em seus céus noturnos, outros testes de Rorschach para suas mentes. Talvez em algum tempo nos próximos séculos, uma espaçonave da Terra realmente atravesse estas distâncias com uma velocidade notável e veja novas constelações que nenhum ser humano jamais viu antes, exceto pelo computador.

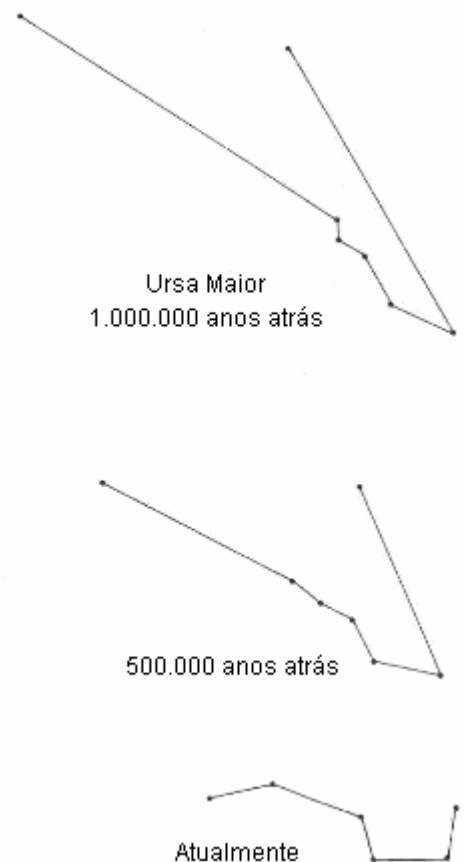
A aparência das constelações muda no espaço e no tempo, não somente se alterarmos nossa posição mas também se esperarmos o suficiente. Algumas estrelas movem-se juntas, em um grupo ou aglomerado, outras vezes uma única estrela pode mover-se muito rapidamente em relação às suas companheiras. Eventualmente deixam uma constelação antiga e penetram em uma outra. Ocasionalmente um membro de um sistema de estrela-dupla explode, rompendo as algemas gravitacionais que a unem à sua companheira que então salta no espaço na velocidade orbital inicial, um tiro no céu. Além disso as estrelas nascem, evoluem e morrem. Se esperarmos o suficiente, novas estrelas aparecerão e velhas sumirão. Os padrões no céu lentamente se dissolvem e se alteram.

Mesmo durante a existência da espécie humana, alguns milhões de anos, as constelações têm-se alterado. Consideremos a atual configuração da Ursa Maior. Nosso computador pode nos transportar no tempo e no espaço. Quando andamos para trás no tempo, considerando o movimento das estrelas que a formam, descobrimos uma aparência bem diferente há um milhão de anos. A Ursa Maior se parecia então com uma lança. Se a máquina do tempo nos mergulhar precipitadamente em algum tempo desconhecido no passado distante, poderemos, em princípio, determinar a época pela configuração das estrelas: se a Ursa Maior for uma lança, deverá ser o Período Pleistoceno médio.

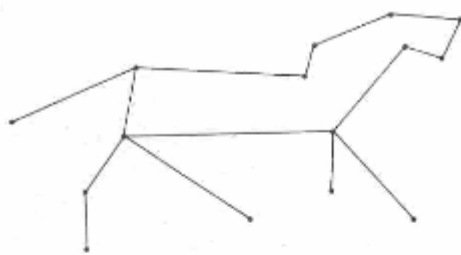
Também podemos pedir ao computador que avance no tempo. Consideremos o Leão. O zodíaco é uma faixa de doze constelações aparentemente disposta em círculo no céu no caminho anual aparente do Sol pelos céus. A raiz da palavra é zoo, por causa das constelações zodiacais, como Leão, apresentarem principalmente a forma de animais. Daqui a um milhão de anos, o Leão se parecerá ainda menos com este animal do que hoje. Talvez nossos descendentes remotos a chamem de constelação do radiotelescópio, embora suspeite que daqui a um milhão de anos o radiotelescópio terá se tornado mais obsoleto do que o é a lança de pedra hoje.

A constelação de Órion (não-zodiacal), o caçador, é delimitada por quatro estrelas brilhantes e seccionadas por uma linha diagonal de três estrelas que representam o cinturão do caçador. Três estrelas mais pálidas caíndo do cinturão são, de acordo com a perspectiva astronômica, a espada de Órion. A estrela do meio da espada não é realmente uma estrela, mas uma grande nuvem de gás chamada Nebulosa de Órion, na qual estrelas estão nascendo. Muitas delas são quentes e jovens, evoluindo rapidamente e terminando suas vidas em explosões cósmicas colossais chamadas supernovas. Elas nascem e morrem em períodos de dez milhões de anos. Se em nosso computador avançássemos no futuro, em Órion, veríamos um fantástico efeito, nascimentos e mortes espetaculares de muitas destas estrelas, cintilando e piscando como pirilampus na noite.

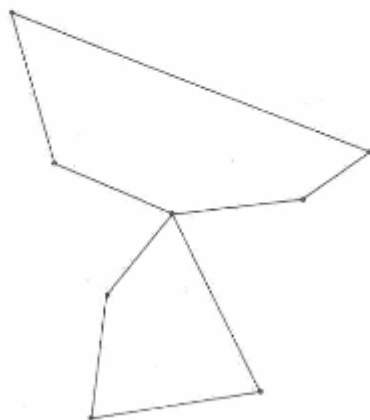
A circunvizinhança solar, o ambiente imediato do Sol no espaço, inclui o sistema estelar mais próximo, o Alfa Centauro. É, na verdade, um sistema triplo, duas estrelas girando uma em torno da outra, e uma terceira, a Próxima Centauro, orbitando o



Imagens da Ursa Maior, geradas por computador, de como deveria ser vista da Terra há um milhão e a meio milhão de anos. Sua forma atual é apresentada por último.



Leão, forma atual



e daqui a 1.000.000 anos

Forma da constelação de Leão, gerada por computador, de como ela é agora (*ao alto*) e como aparecerá ao nosso planeta daqui a um milhão de anos.

par a uma distância discreta. Em algumas posições em sua órbita, a Próxima é a estrela conhecida mais próxima do Sol, justificando o seu nome. A maioria das estrelas no céu é parte de sistemas duplos ou múltiplos. Nosso solitário Sol é quase uma anomalia.

A segunda estrela mais brilhante na constelação de Andrômeda, chamada Beta Andrômeda está a setenta e cinco anos-luz de distância. A luz que vemos agora levou setenta e cinco anos atravessando a escuridão do espaço interestelar em sua longa viagem para a Terra. Se por um evento improvável a Beta Andrômeda tiver explodido na última terça-feira, levaremos setenta e cinco anos para sabê-lo, pois esta informação interessante, viajando com a velocidade da luz, levará setenta e cinco anos para atravessar as enormes distâncias interestelares. Quando a luz que vemos agora desta estrela iniciou sua longa viagem, o jovem Albert Einstein, trabalhando como um funcionário suíço registrado, tinha acabado de publicar sua teoria da relatividade aqui na Terra.

Espaço e tempo estão interligados. Não podemos olhar para o espaço à frente sem olhar para trás no tempo. A luz viaja muito rápido, mas o espaço é muito vazio e as estrelas distantes umas das outras. Distâncias de setenta e cinco anos-luz ou menos são muito pequenas, quando comparadas a outras distâncias em astronomia. Do Sol ao centro da Via-láctea são 30.000 anos-luz. Da nossa galáxia a uma outra espiral próxima, a M31, também na constelação de Andrômeda, são 2.000.000 de anos-luz. Quando a luz da M31 iniciou sua jornada para a Terra, não havia seres humanos em nosso planeta, embora nossos ancestrais estivessem evoluindo rapidamente para a sua forma atual. A distância da Terra aos mais remotos quasars é oito ou dez milhões de anos-luz. Nós os vemos como eram antes da Terra ter-se acumulado, antes da própria Via-láctea ter-se formado.

Não é uma situação restrita a objetos astronômicos, mas somente objetos astronômicos estão tão distantes que a velocidade finita da luz se torna importante. Se você estiver olhando para um amigo a três metros, na outra extremidade da sala, não o verá como é agora mas sim como era a um centésimo de milionésimo de segundo atrás [$(3 \text{ m}) / (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 1 / (10^7/\text{s}) = 10^{-8} \text{ s}$, ou um centésimo de um microssegundo.] Neste cálculo dividimos meramente a distância pela velocidade para ter o tempo da viagem. Mas a diferença entre seu amigo "agora" e a um centésimo de milionésimo de segundo é muito pequena para ser notada. Por outro lado, quando olhamos um quasar a oito milhões de anos-luz, o fato de o estarmos vendo como era há oito milhões de anos pode ser muito importante. (Por exemplo, existem os que pensam que os quasars são eventos explosivos prováveis de acontecer somente no início da história das galáxias. Neste caso, quanto mais distante a galáxia, mais inicial será o momento de sua história que estaremos observando, e mais provável que estaremos vendo-a como um quasar. Realmente o número de quasars aumenta à medida que olhamos a distâncias de mais de cinco bilhões de anos-luz).

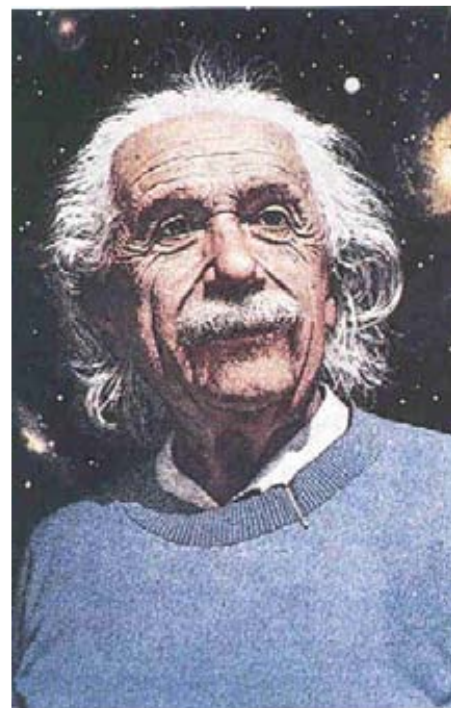
As duas espaçonaves interestelares Voyager, as máquinas mais velozes lançadas da Terra, estão agora viajando a dez

milionésimos da velocidade da luz. Necessitarão de 40.000 anos para chegar à estrela mais próxima. Teremos alguma esperança de deixar a Terra e atravessar as distâncias imensas até mesmo a Próxima Centauro em períodos de tempo convenientes? O que existe de mágico sobre a velocidade da luz? Seremos algum dia mais rápidos que ela?

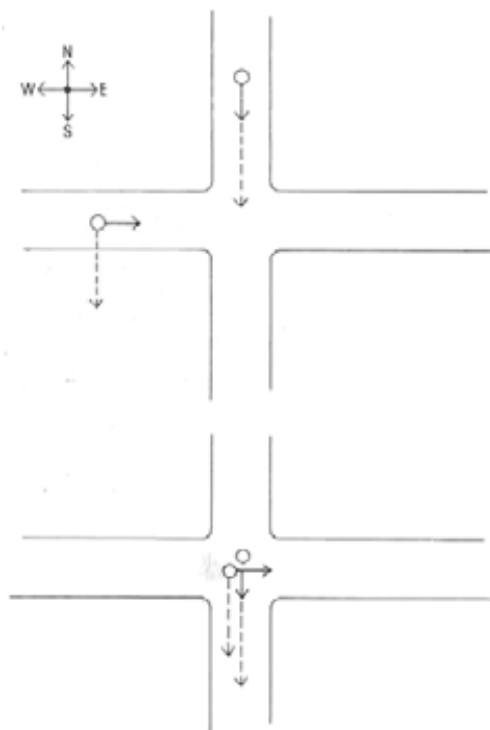
Se estivéssemos passeando no agradável condado rural de Toscana por volta de 1890, talvez tivéssemos nos deparado, no caminho de Pavia, com um adolescente de cabelos meio compridos que não tinha completado o curso secundário. Seus professores, na Alemanha, tinha-lhe dito que nunca seria nada na vida, que suas perguntas perturbavam a disciplina, que seria melhor ele deixar a escola. Então o jovem começou a vagar, deliciando-se com a liberdade do Norte da Itália, onde podia meditar sobre as matérias muito diferentes dos assuntos a que era obrigado a digerir nas salas de aula prussianas onde imperava uma rígida disciplina. Seu nome era Albert Einstein, e suas meditações mudaram o mundo.

Einstein tinha ficado fascinado com um livro de Bernstein, *Livro Popular da Ciência Natural*, uma popularização da ciência que descrevia na primeira página a incrível velocidade da eletricidade através dos fios e a da luz no espaço. Perguntou-se como seria o mundo se pudéssemos viajar em uma onda de luz. Viajar com a velocidade da luz! Que pensamento atraente e mágico para um rapaz caminhando nos campos salpicados e enfeitados pela luz solar. Não podemos dizer se estamos em uma onda de luz se viajarmos nela. Se começarmos na crista da onda, permaneceremos nela e perderemos a noção de que é uma onda. Alguma coisa estranha acontece na velocidade da luz. Quanto mais Einstein pensava sobre o assunto, mais complicado ele se tornava. Os paradoxos pareciam emergir de todos os lados se pudéssemos viajar com a velocidade da luz. Certas idéias tinham sido aceitas como verdadeiras sem uma reflexão cuidadosa. Einstein formulou perguntas simples que poderiam ter sido respondidas séculos antes. Por exemplo, o que queremos dizer quando mencionamos que dois eventos são simultâneos?

Imaginemos que estou dirigindo uma bicicleta na sua direção. À medida que me aproximo de um cruzamento, quase colido, assim me parece, com uma carroça. Eu desvio e tento evitar ser atropelado. Pensemos novamente sobre o evento e imaginemos que a carroça e a bicicleta estão ambas se deslocando em uma velocidade próxima à da luz. Se você estiver mais além na estrada, a carroça estará em ângulo reto com a sua linha de visada. Você me vê, pela luz do Sol refletida, que se dirige na sua direção. Será que a minha velocidade adicionada à da luz não faria a minha imagem chegar a você consideravelmente antes da imagem da carroça? Será que você não me verá desviando antes de ver a carroça chegar? Poderemos a carroça e eu aproximarmos-nos do cruzamento simultaneamente do meu ponto de vista, mas não do seu? Poderia eu experimentar uma colisão imediata com a carroça, enquanto você talvez me veja desviando do nada e pedalar alegremente em direção à cidade de Vinci? São perguntas curiosas e sutis. Desafiam o óbvio. Há uma razão para ninguém ter pensado



Albert Einstein (1879-1955). Retrato por Jean-Leon Huens, © National Geographic Society. Seu interesse latente pela ciência foi despertado, aos doze anos, por um livro de ciência popular que lhe foi dado por um estudante pobre, chamado Max Talmey, que tinha sido convidado para jantar, num ato de caridade e compaixão, pelos pais de Einstein.



O paradoxo simultâneo na relatividade especial. O observador está de pé no braço sul de uma encruzilhada. Um ciclista se aproximando, vindo da parte norte a uma velocidade representada pela linha contínua da flecha. A luz refletida pelo ciclista se aproxima do observador a uma velocidade maior, representada pela linha interrompida. Uma carroça se aproxima da interseção vinda do oeste a uma velocidade representada pela linha contínua da flecha, e a luz é refletida para o sul a uma velocidade dada pela linha interrompida. Se adicionássemos a velocidade do ciclista à velocidade da luz (uma vez que ele está se aproximando do observador), a luz do ciclista chegaria antes da luz da carroça, e o que seria percebido como uma colisão próxima pelo ciclista e pelo cocheiro é testemunhado de modo bem diferente pelo observador. Experiências cuidadosas mostraram que isto não acontece. O paradoxo é percebido somente se o ciclista estiver se movendo a uma velocidade bem próxima à da luz. A solução do paradoxo é que a velocidade da luz deve ser independente da velocidade do objeto que se move.

nelas antes de Einstein. Partindo destas perguntas elementares, ele produziu uma reformulação fundamental do mundo, uma revolução na física.

Se o mundo deve ser compreendido, teremos que evitar estes paradoxos lógicos quando viajamos em grandes velocidades, existindo certas regras e comandos da Natureza que devemos obedecer. Einstein codificou estas regras na teoria da relatividade especial. A luz (refletida ou emitida) de um objeto viaja com a mesma velocidade, independente se o objeto é estacionário ou está se movendo: *Não se deve adicionar a sua velocidade à da luz*. Também nenhum objeto material pode mover-se mais rapidamente do que a luz: *Não se deve viajar na ou além da velocidade da luz*. Nada na física evita você de viajar próximo da velocidade da luz se você assim o desejar: 99,9% desta velocidade será ótimo. Não importa quanto você lute, jamais terá o décimo que falta. Para o mundo ser logicamente consistente, deve haver um limite de velocidade cósmica. Por outro lado, você pode atingir a qualquer velocidade desejada adicionando velocidades em uma plataforma móvel.

Os europeus, por volta do início do século, geralmente acreditavam em composições privilegiadas de referência, que a cultura e organização política alemã, francesa ou inglesa eram melhores que as dos outros países; que os europeus eram superiores aos outros povos afortunados o bastante por serem colonizados. A aplicação social e política das idéias de Aristarco e Copérnico eram rejeitadas ou ignoradas. O jovem Einstein rebelou-se contra a noção de composições privilegiadas de referência na física tanto quanto o fez em relação à política. Em um universo repleto de estrelas correndo desordenadamente em todas as direções, não havia nenhum local que estivesse "em repouso", nenhum referencial no qual a visão do universo fosse superior às outras. Este é o significado do termo *relatividade*. A idéia é muito simples, a despeito dos seus adornos mágicos: na visão do universo, cada local é tão bom quanto qualquer outro. As leis da Natureza são idênticas, não importa quem as esteja escrevendo. Se isto é verdadeiro (seria surpreendente se houvesse alguma coisa especial a respeito da nossa localização insignificante no Cosmos), então ninguém consegue viajar mais rápido do que a luz.

Ouvimos o estado do chicote de couro, porque sua ponta move-se mais rápido do que a velocidade do som, criando uma onda de choque, um pequeno *boom* sônico. A detonação de um trovão tem uma origem semelhante. Pensava-se que os aviões não pudessem viajar mais rápido do que o som. Hoje o jato supersônico é uma realidade. Mas a barreira da luz é diferente da do som. Não é meramente um problema de engenharia, como o que foi resolvido pelo avião supersônico. É uma lei fundamental da natureza, tão básica quanto a da gravidade. Não há fenômenos em nossa experiência, como o estalo do chicote de couro ou a detonação de um trovão que sugeriram a possibilidade de viajar no vácuo mais rapidamente do que a luz. Pelo contrário, há uma gama extremamente ampla de experiências, com aceleradores nucleares e relógios atômicos por exemplo, em acordo quantitativo preciso com a relatividade especial.

Os problemas da simultaneidade não se aplicam ao som como com a luz porque o som se propaga através de algum meio material, geralmente o ar. A onda de som que nos atinge, quando um amigo nos fala, é o movimento das moléculas do ar. Mas a luz viaja no vácuo. Há restrições em como as moléculas do ar podem-se mover que não se aplicam ao vácuo. A luz do Sol nos atinge atravessando o espaço vazio existente entre nós, mas não importa o quão cuidadosamente estivermos ouvindo, pois não escutaremos o crepitar das manchas solares ou o trovão dos flares. Pensava-se, antes da relatividade, que a luz se propagava em um meio especial permeado em todo o espaço, chamado "éter luminífero". Mas a famosa experiência de Michelson-Morley demonstrou que este éter não existe.

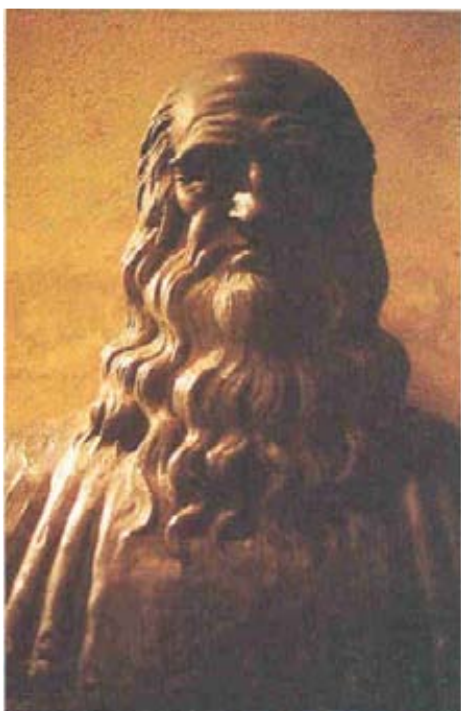
Algumas vezes ouvimos falar de coisas que viajam mais rápido do que a luz. Ocasionalmente refere-se a algo chamado "a velocidade do pensamento", uma noção excepcionalmente tola, já que sabemos que a velocidade dos impulsos dos neurônios em nosso cérebro é quase que a mesma de uma carroça puxada por um burro. Os seres humanos tendo sido espertos o suficiente para conscientizar-se da relatividade, mostram que sabem pensar bem, mas acho que não podemos jactar-nos sobre a rapidez do pensamento. Os impulsos elétricos em um computador, entretanto, viajam próximo à velocidade da luz.

A relatividade especial, totalmente desenvolvida por Einstein em seus vinte e poucos anos, é sustentada por cada experiência feita para testá-la. Talvez amanhã alguém invente uma teoria consistente com tudo o mais que sabemos que envolvem paradoxos, de tal modo como a simultaneidade, evitando as construções de referência privilegiada, e ainda permita uma viagem mais rápida do que a luz. Duvido muito. A proibição de Einstein contra uma viagem destas pode chocar-se com o nosso bom senso. Mas por que confiamos no nosso bom senso? Por que a nossa experiência a 10 quilômetros por hora constrangeria as leis da natureza a 300.000 quilômetros por segundo? A relatividade estabelece limites sobre até onde os seres humanos poderão ir. Não requer que o universo esteja em perfeita harmonia com a ambição humana. A relatividade especial remove a nossa capacidade de agarrar um caminho para chegar às estrelas, a nave que pode mover-se mais rápido do que a luz. Atormentadoramente sugere um outro método inesperado.

Seguindo George Gamow, imaginemos um local onde a velocidade da luz não seja 300.000 quilômetros por segundo, mas sim 40 quilômetros por hora, realmente cumpridos. (Não há castigos por romper as leis da natureza porque não há crimes: a natureza é auto-reguladora e arruma os fatos de modo que as proibições são impossíveis de serem transgredidas.) Imagine-mos que você esteja se aproximando da velocidade da luz em uma prancha motorizada. (A relatividade é rica em frases iniciando-se: Imaginemos... Einstein chamava este tipo de exercício de *Gedanken experiment*, um experimento idealizado através do pensamento). À medida que a sua velocidade aumenta, você começa a ver nos cantos os objetos passando. Enquanto você está rigidamente olhando em frente, as coisas que estão atrás de você



Placa de trânsito sucinta, erigida na cidade italiana de Vinci. Lê-se: "Bem-vindos a Vinci. Limite da velocidade da luz, 40 quilômetros [por hora]". Foto de Ann Druyan.



Busto de Leonardo da Vinci (1452-1519), no Museu de Leonardo em Vinci. Foto do autor.

aparecem dentro do seu campo de visão em evidência. Perto da velocidade da luz, do seu ponto de vista, o mundo parece muito estranho, tudo espremido dentro de uma pequena janela circular, que permanece à sua frente. Do ponto de vista de um observador parado, a luz refletida por você é vermelha quando você parte e azul quando volta. Se você viajar em direção ao observador a uma velocidade quase igual à da luz, você ficará envolto em uma radiação cromática sobrenatural; sua emissão infravermelha geralmente invisível será desviada para comprimento de ondas menores e visíveis. Você se tornará comprimido na direção do movimento, sua massa aumentará e o tempo diminuirá, uma consequência ofegante de viajar a uma velocidade próxima à da luz chamada dilatação do tempo. Mas do ponto de vista de um observador movendo-se com você — talvez a prancha tenha um segundo assento — não ocorrerá nenhum destes efeitos.

Estas previsões peculiares e a princípio perplexas da relatividade especial são verdadeiras no sentido mais profundo de que tudo na ciência é verdade. Dependem do seu movimento relativo, mas são reais e não ilusões de óptica. Podem ser demonstradas pela matemática simples, principalmente pela álgebra elementar e, portanto, entendíveis por qualquer pessoa com alguma instrução. São também consistentes com muitas experiências. Relógios de alta precisão, colocados em aviões, atrasam um pouco comparados a outros estacionários. Aceleradores nucleares são projetados para permitir o aumento da massa em decorrência do aumento da velocidade; se não forem projetados deste modo, as partículas aceleradas se despedaçariam nas paredes do aparato e pouco haveria para ser feito na física nuclear experimental. Velocidade é a distância dividida pelo tempo. Uma vez que próximo à velocidade da luz não podemos simplesmente adicionar velocidades, como costumamos fazer no mundo do dia-a-dia; as noções familiares de espaço e tempo absolutos, independente do seu movimento *relativo*, devem mudar. Esta é a razão por que você encolhe. Esta é a razão da dilatação do tempo.

Viajando a uma velocidade próxima à da luz, você dificilmente envelheceria, mas seus amigos e parentes sofreriam o processo no ritmo normal. Quando você retornasse da sua viagem relativística que diferença haveria entre seus amigos e você, tendo eles envelhecido décadas e você não! É uma viagem tipo elixir da vida. Em virtude do tempo ficar vagaroso próximo à velocidade da luz, a relatividade especial nos fornece meios de ir até as estrelas. Mas será possível, em termos de engenharia prática, viajar próximo à velocidade da luz? Haverá uma espaçonave exeqüível?

A Toscana não foi somente o caldeirão de alguns dos pensamentos do jovem Albert Einstein; foi também a casa de outro grande gênio que viveu 400 anos antes, Leonardo da Vinci, que adorava subir as colinas de Toscana e ver o solo de uma grande altura como se estivesse voando como os pássaros. Desenhou as primeiras perspectivas aéreas de paisagens, cidades e fortificações. Entre os muitos interesses e realizações de Leonardo — pintura, escultura, anatomia, geologia, história natural, enge-

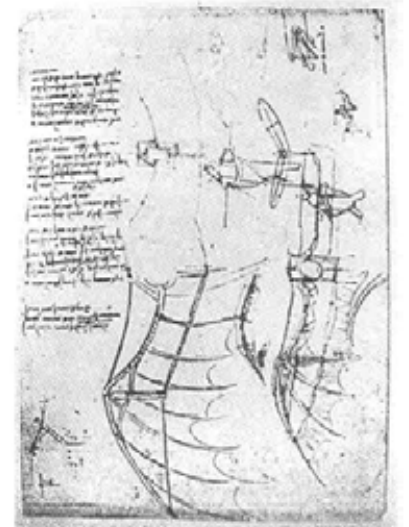
nharia civil e militar — ele tinha uma grande paixão: inventar e fabricar uma máquina que pudesse voar. Fez desenhos, construiu modelos e protótipos em tamanho natural, e nenhum deles funcionou. Não existia um engenho suficientemente poderoso e leve. Os projetos, contudo, eram brilhantes e encorajavam os engenheiros que vieram depois. Leonardo ficava deprimido com esses fracassos, mas não era culpa sua. Ele viveu no século XV.

Um caso similar ocorreu em 1939 quando um grupo de engenheiros, que se cognominava Sociedade Interplanetária Britânica, desenhou uma nave para levar pessoas à Lua, usando a tecnologia de 1939. Não era idêntica ao desenho da espaçonave Apoio, que realizou exatamente esta missão três décadas mais tarde, mas sugeriu que uma missão à Lua poderia um dia ser uma possibilidade prática da engenharia.

Hoje em dia temos esboços preliminares de naves para levar pessoas para as estrelas. Não se imagina que estas espaçonaves saiam diretamente da Terra, mas serão construídas na órbita da Terra de onde serão lançadas para suas longas viagens interestelares. Uma delas foi chamada Projeto Órion, em homenagem à constelação, um lembrete de que o objetivo da nave é uma estrela. Órion foi projetada para utilizar explosões de bombas de hidrogênio, armas nucleares contra uma placa inerte, cada explosão fazendo um ruído de *puff-puff*, um imenso motor nuclear de barco no espaço. Órion parece totalmente exequível do ponto de vista da engenharia. Pela sua natureza, teria produzido imensas quantidades de debris radioativos, mas pela missão conscienciosa, ela só os produz no vácuo do espaço interplanetário ou interestelar. A Órion estava sofrendo um desenvolvimento importante nos Estados Unidos até a assinatura de um tratado internacional que proíbe a detonação de armas nucleares no espaço. Para mim é uma grande pena. A nave estelar Órion é o melhor meio que posso imaginar para armas nucleares.

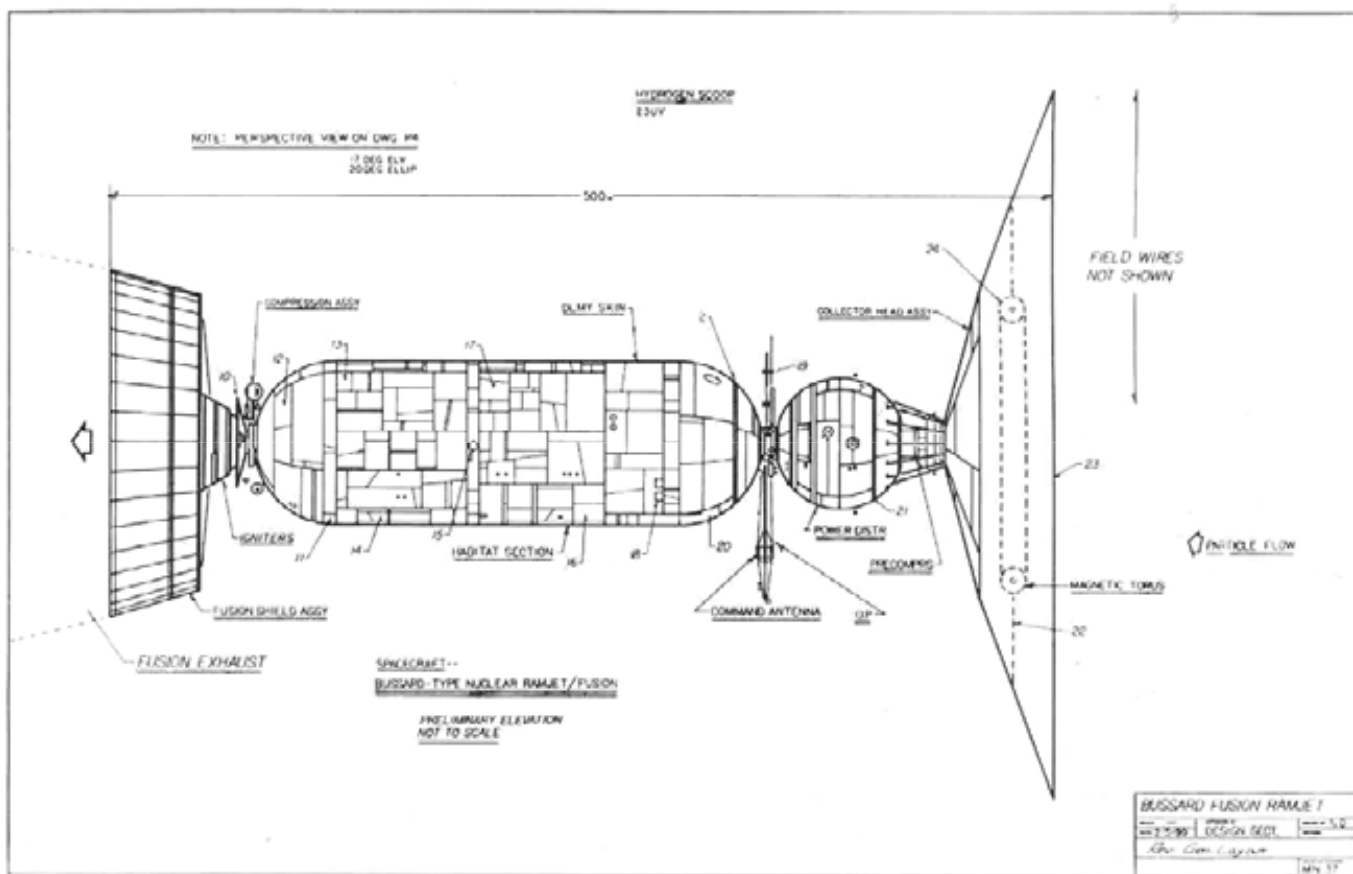
O projeto Daedalus é um dos mais recentes da Sociedade Interplanetária Britânica. Supõe a existência de um reator de fusão nuclear, algo muito mais seguro e eficiente do que os projetos de propulsão a fusão. Ainda não temos reatores de fusão, mas são esperados nas próximas décadas. Órion e Daedalus devem viajar a 10% da velocidade da luz. Uma viagem a Alfa Centauro, a 4,3 anos-luz de distância, levará então quarenta e três anos, menos do que a duração de uma vida. Estas naves não podem deslocar-se a uma velocidade próxima à da luz, porque a dilatação de tempo relativística especial torna-se importante. Mesmo com as projeções otimistas no desenvolvimento de nossa tecnologia, não parece provável que Órion e Daedalus, ou cada um deles seja construído antes da metade do século XXI, embora se quiséssemos, construiríamos a Órion agora.

Para viagens além das estrelas mais próximas, algo mais deverá ser feito. Talvez Órion e Daedalus possam ser utilizadas como naves de multigeracões, de modo que os que chegarem a um planeta ou a uma outra estrela serão os descendentes remo-tos daqueles que iniciaram alguns séculos antes. Ou talvez seja encontrado um meio seguro de hibernação para seres huma-



Dois esboços de máquinas voadoras de Leonardo. *Acima*: modelo de helicóptero de hélice helicoidal, do Museu Leonardo, Vinci. Este modelo inspirou Igor Sikorsky a desenvolver o helicóptero moderno. *Abaixo*: Página do livro de apontamentos de Leonardo, a escrita em espelho, mostrando um desenho para um semi-ornitóptero no qual a asa interna fixa é um corpo suspenso aerodinâmico e a ponta da asa achatada. É uma alteração significativa da noção inicial de Leonardo que a máquina mais pesada que o ar necessitava de asas que batassem como as dos pássaros. Este esboço influenciou o aeroplano sem motor de 1891-96 de Otto Lilienthal, que precedeu as invenções de Wilbur e Orville Wright. O caderno de apontamentos foi escrito entre 1497 e 1500.





nos, de modo que os viajantes do espaço possam ser congelados e então despertados séculos depois. Estas naves espaciais não-relativísticas, tão dispendiosas, parecem relativamente fáceis de serem projetadas, construídas e utilizadas, comparadas às naves estelares que se deslocam a uma velocidade próxima à da luz. Outros sistemas estelares são acessíveis à espécie humana, mas somente após grandes esforços.

O vôo espacial interestelar rápido, com a velocidade da nave próxima à da luz, é um objetivo não para daqui a cem anos, mas para mil ou dez mil anos. Mas, a princípio, é possível. Um tipo de jato interestelar foi proposto por R. W. Bussard, que reúne a matéria difusa, principalmente átomos de hidrogênio que flutuam entre as estrelas, acelera-a em uma máquina de fusão e a ejeta pela parte traseira. O hidrogênio pode ser utilizado como combustível e como massa de reação. Mas no espaço há somente cerca de um átomo em cada dez centímetros cúbicos, volume do tamanho de uma uva. Para o foguete andar, é necessário um coletor frontal de centenas de quilômetros de diâmetro. Quando a nave atingir velocidades relativísticas, os átomos de hidrogênio estarão se movendo em relação à espaçonave próximo à velocidade da luz. Se não forem tomadas as devidas precauções, a espaçonave e seus passageiros ficarão frigidados por esses raios cósmicos induzidos. Uma solução proposta utiliza um laser para retirar os elétrons dos átomos interestelares e torná-los carregados eletricamente enquanto ainda estiverem a alguma distância, e formar um campo eletromagnético extremamente poderoso para afastar os átomos carregados no coletor para longe do resto da espaçonave. É um projeto de engenharia sem precedentes na Terra. Estamos nos referindo a máquinas do tamanho de pequenos mundos.

Vamos nos deter por um momento e pensar sobre uma dessas naves. A Terra as atrairá gravitacionalmente com uma certa força, se falharmos em uma experiência como a aceleração. Quando caímos de uma árvore, o que deve ter acontecido a muitos dos nossos ancestrais proto-humanos, nos precipitaremos cada vez mais rápido, aumentando a nossa velocidade da queda dez metros por segundo, a cada segundo. Esta aceleração, que caracteriza a força da gravidade que nos atém à superfície da Terra, é chamada 1 g, g = gravidade. Sentimo-nos confortáveis com acelerações de 1 g; crescemos com elas. Se vivêssemos em espaçonaves interestelares que acelerassem a 1 g, estaríamos em um ambiente perfeitamente natural. Na verdade, a equivalência entre as forças gravitacionais e as que sentiríamos em uma espaçonave acelerando é a principal característica da última teoria da relatividade geral de Einstein. Com uma aceleração contínua de 1 g, após um ano no espaço, estaríamos viajando a uma velocidade bem próxima à da luz $[(0,01 \text{ km/s}^2) \times (3 \times 10^7 \text{ s}) = 3 \times 10^5 \text{ km/s}]$.

Suponhamos que esta espaçonave acelere 1 g, aproximando-se cada vez mais da velocidade da luz até o meio da viagem; então ela gira e desacelera a 1 g até chegar ao seu destino. Durante a maior parte da viagem a velocidade estaria próxima à da luz, e o tempo seria diminuído enormemente. Uma missão com destino próximo, um sol que talvez possua

planetas, é a estrela de Barnard, a cerca de seis anos-luz. Pode ser atingida em oito anos, medidos por relógios a bordo da nave; o centro da Via-láctea em vinte e um anos; a M31, a galáxia de Andrômeda, em vinte e oito anos. Naturalmente as pessoas deixadas na Terra veriam as coisas diferentes. Em vez de vinte e um anos até o centro da galáxia, mediriam um tempo decorrido de 30.000 anos. Quando chegássemos em casa, poucos dos nossos amigos estariam para nos receber. Em princípio uma viagem destas, somando os pontos decimais para cada vez mais próximos à velocidade da luz, talvez nos permitisse até circunavegar o universo conhecido em cinquenta e seis anos no tempo na nave. Retornaríamos em dez bilhões de anos para achar a Terra como a cinza de um carvão, e o Sol morto. O vôo espacial relativístico torna o universo acessível às civilizações adiantadas, mas somente para os que vão na viagem. Parece não haver como fazer a informação voltar ao que ficou para trás de modo mais rápido do que a velocidade da luz.

Os projetos Órion, Daedalus e o jato Bussard estão provavelmente mais distantes das espaçonaves interestelares que um dia construiremos do que os modelos de da Vinci estão dos transportes supersônicos atuais. Se não nos destruirmos, acredito que um dia nos aventuraremos entre as estrelas. Quando todo o nosso sistema solar estiver explorado, os planetas de outras estrelas atrairão nossa atenção.

As viagens no tempo e no espaço são conectadas. Podemos viajar mais rápido no espaço somente se viajarmos mais rápido no futuro. Mas, o que dizer do passado? Poderemos retornar ao passado e mudá-lo? Poderemos alterar os eventos e fazê-los diferentes do que relatam os livros de história? Viajamos mais lentamente no futuro durante todo o tempo, no ritmo de um dia a cada dia. Com o vôo espacial relativístico poderemos viajar mais rápido no futuro. Muitos físicos acham que a viagem ao passado é impossível. Mesmo se tivéssemos um engenho que viajasse para trás no tempo, dizem eles, seríamos incapazes de alterar alguma coisa. Se você viajasse para o passado e impedisse que os seus pais se encontrassem, então você nunca nasceria, o que seria uma contradição, já que você existe. Como a prova da irracionalidade da $\sqrt{2}$, como a discussão da simultaneidade na relatividade especial, este é um argumento no qual a premissa é desafiada porque a conclusão parece absurda.

Outros físicos propõem que duas histórias alternativas, duas realidades igualmente válidas, podem existir lado a lado, uma que você conhece e uma na qual você nunca nasceu. Talvez o próprio tempo possua muitas dimensões potenciais, a despeito do fato de estarmos condenados a experimentar somente uma delas. Suponhamos que você pudesse retornar ao passado e alterá-lo, persuadindo a Rainha Isabel de Castela a não ajudar Cristóvão Colombo, por exemplo. Argumentar-se-ia, então, que você teria dado início a uma sequência diferente de eventos históricos, os quais as pessoas que você deixou para trás em nossa linha de tempo jamais saberiam. Se este tipo de viagem no tempo for possível, todas as alternativas imagináveis na história poderão de algum modo realmente existir.



Representação simbólica da viagem através do tempo. A Máquina do Tempo é a que foi construída para o filme de George Pal, baseado na história de H. G. Wells. Foto de Edward Castañeda.

A história consiste na sua maior parte de um feixe completo de caminhos profundamente interligados, forças sociais, culturais e econômicas não facilmente desvendadas. Os incontáveis eventos pequenos, imprevisíveis e casuais que fluíram continuamente muitas vezes não tiveram conseqüências de longo alcance. Mas alguns, os que ocorreram em conjunturas críticas ou em momentos decisivos, podem alterar o padrão da história. Deve haver casos onde podem ser feitas mudanças profundas com ajustamentos relativamente triviais. Quanto mais anterior no passado for o evento, mais poderosa será a sua influência, porque maior será o braço da alavanca no tempo.

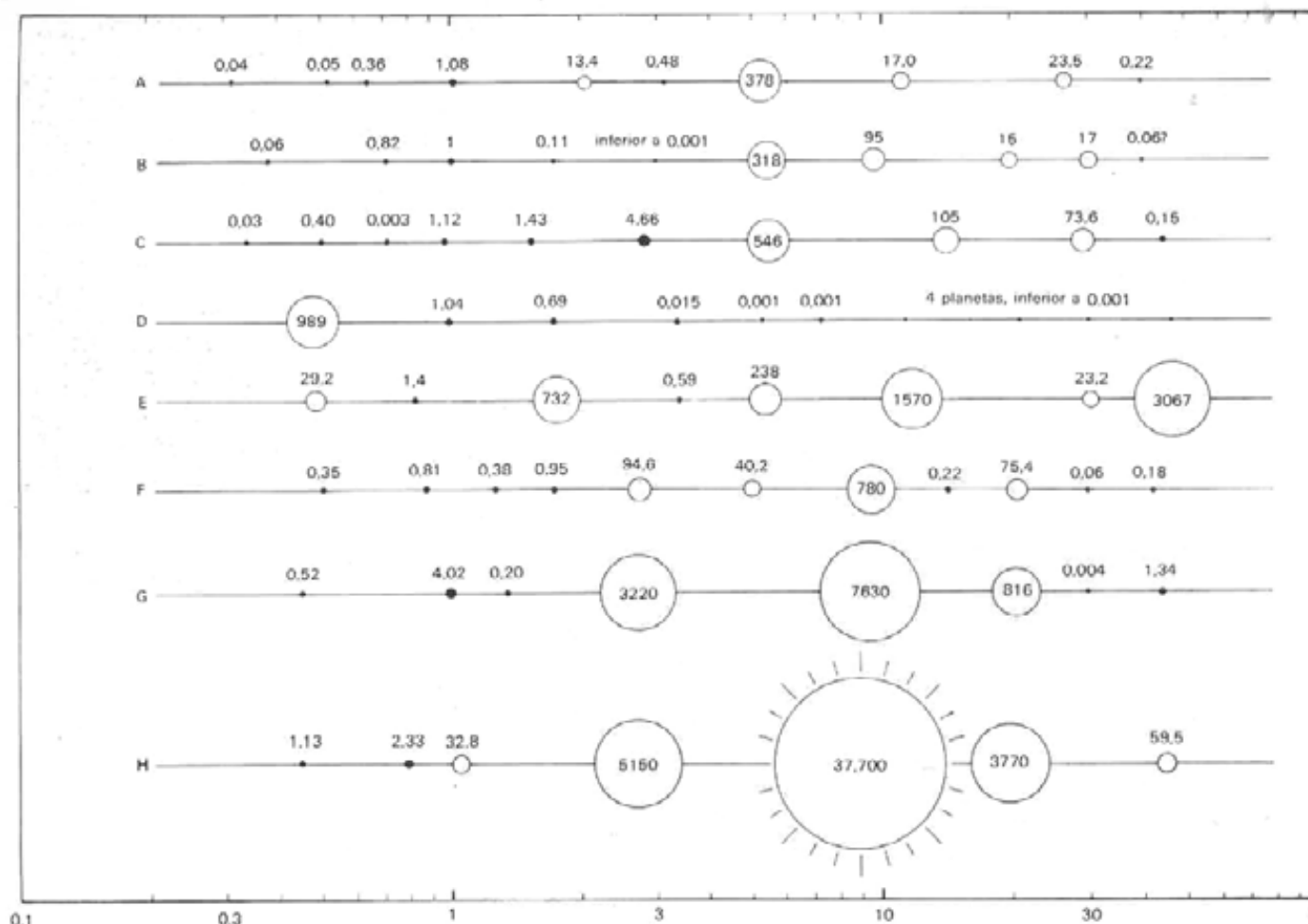
O vírus da pólio é um microrganismo diminuto. Encontramos muitos deles todos os dias. Felizmente, só em casos raros um deles nos infecta causando esta doença terrível. Franklin D. Roosevelt, o 32.º Presidente dos Estados Unidos, teve pólio. Como a doença o invalidou, Roosevelt possuía uma grande compaixão pelos desfavorecidos, ou talvez ela o tenha impelido em sua escalada à procura do sucesso. Se a personalidade de Roosevelt tivesse sido diferente, ou se ele nunca tivesse tido a ambição de ser presidente, a grande depressão dos anos 30, a Segunda Guerra Mundial e o desenvolvimento das armas nucleares possivelmente teriam acontecido de modo diferente. O futuro do mundo teria sido outro. Um vírus é uma coisa insignificante, com somente um milionésimo de centímetro de comprimento. É até difícil de ser visto como um ser.

Por outro lado, suponhamos que o nosso viajante no tempo tenha persuadido a Rainha Isabel de que a geografia de Colombo era falha, que pela estimativa de Eratóstenes da circunferência da Terra, Colombo jamais atingiria a Ásia. Quase que certamente algum outro europeu surgiria após algumas décadas e viajaria para o oeste. Aprimoramentos na navegação, a atração do comércio das especiarias e a competição entre os poderios europeus rivais tornariam a descoberta da América, em torno do ano 1500, inevitável. Naturalmente não haveria uma nação Colômbia, um distrito de Columbia ou Columbus, Universidade de Columbia ou Ohio nas Américas. O curso geral da história teria ocorrido quase que igualmente. Para afetar o futuro profundamente, um viajante do tempo teria que provavelmente intervir em alguns eventos escolhidos com cuidado, para alterar o curso da história.

É uma deliciosa fantasia explorar-se estes mundos que nunca existiram. Visitando-os, poderíamos realmente entender como a história se forma; a história poderia se tornar uma ciência experimental. Se um personagem aparentemente chave nunca tivesse vivido — por exemplo, Platão, Paulo, Pedro o Grande — de que forma o mundo seria diferente? Como seria se a tradição científica dos antigos gregos jônicos tivesse sobrevivido e florescido? Teria sido necessário que muitas das forças sociais da época fossem diferentes, incluindo a crença difundida de que a escravidão era natural e correta. E se a luz que apagou no Mediterrâneo oriental há 2.500 anos não tivesse piscado? E se a ciência e o método experimental e a dignidade dos ofícios e das artes mecânicas tivessem prosseguido 2.000 anos antes da Revolução Industrial? Como seria se o poder deste novo modo de



Selo postal expedido em associação à Exposição Colombiana de 1892, representando Cristóvão Colombo apresentando seus argumentos geográficos e econômicos à Rainha Isabel. Que grandes viagens de descobrimentos estarão acontecendo em 1992, o ano do quinto centenário da descoberta da América por Colombo?



pensar tivesse sido apreciado de um modo mais geral? Acho que talvez teríamos ganho dez ou vinte séculos. Talvez as contribuições de Leonardo fossem feitas mil anos antes e as de Albert Einstein quinhentos anos. Nesta outra Terra, Leonardo e Einstein naturalmente nunca teriam nascido. Muitas coisas teriam sido diferentes. Em cada ejaculação há centenas de milhões de espermatozoides e somente um pode fertilizar um óvulo e produzir um membro da geração seguinte de seres humanos. Mas o espermatozoide que vier a fertilizar o ovo dependerá de fatores mínimos e insignificantes, tanto internos como externos. Se qualquer aspecto tivesse ocorrido diferente há 2.500 anos, nenhum de nós estaria aqui hoje. Haveria bilhões de outras vidas em nosso lugar.

Se o espírito jônico tivesse vencido, penso que nós — um "nós" diferente naturalmente — estaríamos nos aventurando entre as estrelas. Nossas primeiras investidas a Alfa Centauro, estrela de Barnard, Sirius e Tau Ceti já teriam ocorrido. Grandes frotas de transporte interestelar estariam em construção na órbita da Terra — naves de inspeção não-tripuladas, naves de carreira, e imensas naves comerciais para lavrar os mares do espaço. Em todas elas haveria símbolos e mensagens. E talvez o símbolo na proa de uma das primeiras naves fosse um dodecaedro, com a inscrição: "Nave Estelar Theodorus, do Planeta Terra".

Na linha do tempo do nosso mundo os acontecimentos andaram um pouco mais devagar. Ainda não estamos prontos

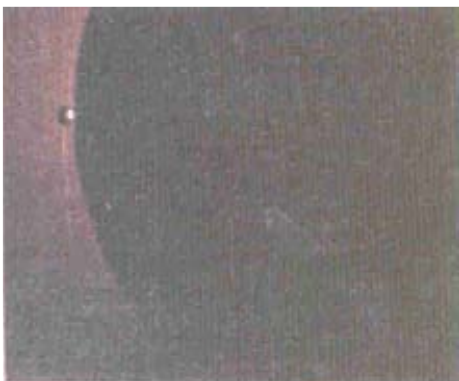
Sete sistemas solares gerados pelo programa de computador ACCRETE, e um sistema real, o nosso (B). As distâncias dos planetas à sua estrela são mostradas ao longo do eixo horizontal (1 unidade astronômica = 150.000.000 de quilômetros). As massas dos planetas são mostradas em unidades de massa da Terra. Os planetas terrestres são representados como pontos cheios, e os jovianos como círculos vazios. Os sistemas A e C são muito semelhantes ao nosso, com planetas terrestres próximos da estrela, e os jovianos mais afastados. O sistema D é o oposto. Os planetas terrestres e jovianos estão espalhados em E e F. Planetas jovianos muito massivos estão dispostos em C, e em H o quinto planeta é tão massivo que se tornou uma estrela, e a configuração passou a ser um sistema estelar duplo. Montado após cálculos de Stephen Dole, Richard Isaacman e o autor.



Bulbo de luz elétrica, representando uma estrela distante e uma pequena esfera simbolizando um planeta sem luz própria. As estrelas são tão brilhantes que seus planetas, em geral, se perdem totalmente em seu resplendor.



A medida que a luz estelar é artificialmente eclipsada por um disco no primeiro plano (ou pela superfície lunar), o planeta, brilhando com a luz refletida, se torna mais facilmente visível.



Quando a estrela está totalmente oculta, o planeta emerge da claridade. Estas observações repetidas puderam determinar a posição, movimento e talvez outras particularidades de planetas não descobertos anteriormente.

para as estrelas, mas talvez em mais um ou dois séculos, quando o sistema solar estiver todo explorado e nós tivermos colocado o nosso planeta em ordem. Teremos a vontade, os recursos e o conhecimento tecnológico para ir às estrelas. Temos examinado à distância a diversidade de outros sistemas planetários, alguns bem parecidos com o nosso e outros extremamente diferentes. Saberemos quais as estrelas a visitar. Nossas máquinas e descendentes deslizarão pelos anos-luz, proles de Tales e Aristarco, da Vinci e Einstein.

Ainda não temos certeza de quantos sistemas planetários existem, mas eles parecem ser abundantes. Em nossa vizinhança imediata não parece haver um só, mas quatro em um certo sentido: Júpiter, Saturno e Urano, cada um apresenta um sistema de satélites que, em tamanho relativo e disposição das luas, lembram muito os planetas em torno do Sol. A extrapolação das estatísticas das estrelas duplas extremamente desiguais em massa sugere que quase toda estrela solitária como o Sol deve ter companheiros planetários.

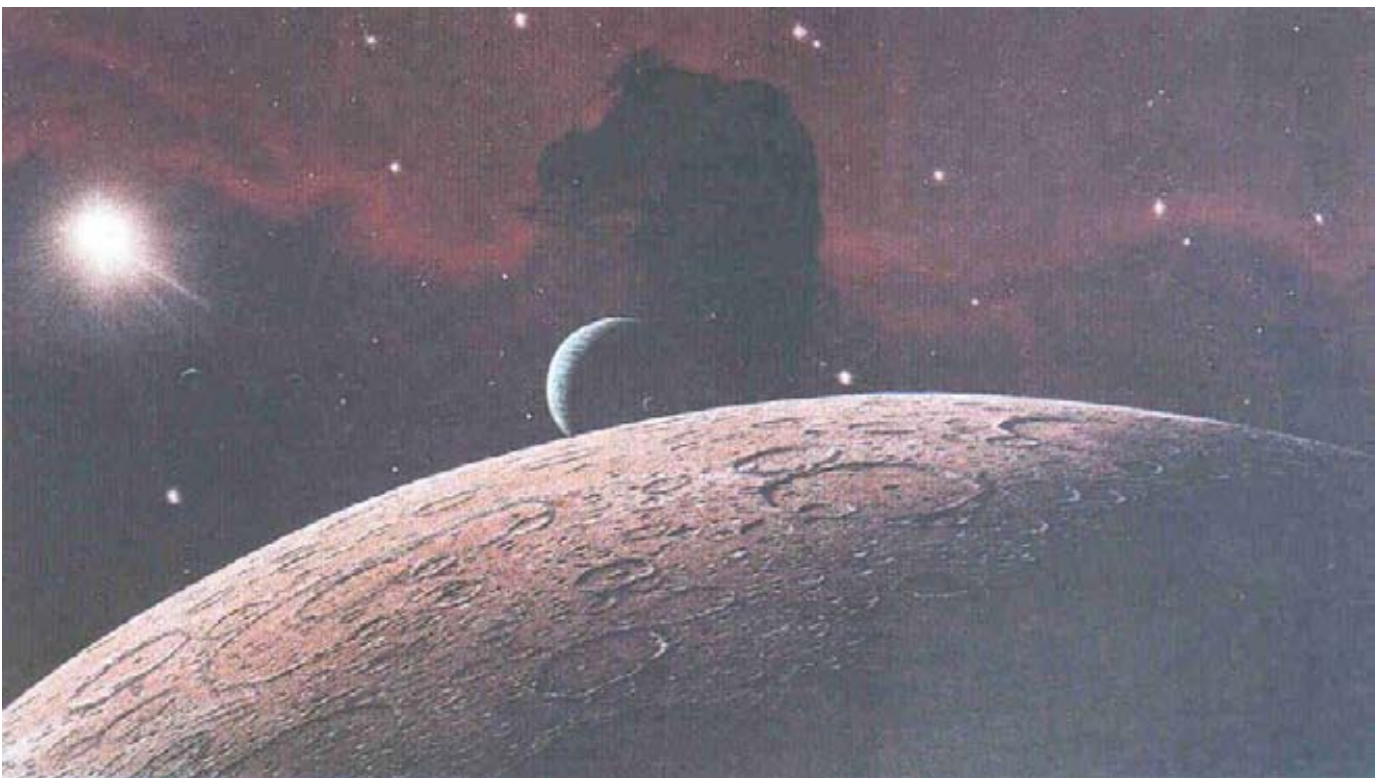
Ainda não podemos ver diretamente os planetas de outras estrelas, pontos diminutos de luz imersos no brilho de seus sóis locais, mas estamos tornando-nos capazes de detectar a influência gravitacional de um planeta não visto ou de uma estrela não observada. Imaginemos uma estrela com um "movimento próprio" grande, movendo-se décadas contra o fundo das constelações mais distantes, e com um planeta volumoso, como Júpiter por exemplo, cujo plano orbital está por acaso alinhado em ângulo reto com a nossa linha de visada. Quando o planeta escuro, visto da nossa perspectiva está à direita da estrela, esta será empurrada um pouco para a direita, e inversamente quando o planeta estiver à sua esquerda. Conseqüentemente, o caminho da estrela será alterado, ou perturbado, de uma linha reta para uma em ondas. A estrela mais próxima para a qual este método de perturbação gravitacional pode ser aplicado é a de Barnard, a estrela simples mais próxima. As interações complexas das três estrelas no sistema Alfa Centauro tornarão muito difícil a busca de um companheiro de pouca massa. Mesmo para a estrela de Barnard, a investigação deve ser cuidadosa, uma procura de deslocamentos microscópicos de posição em chapas fotográficas expostas nos telescópios por décadas. Duas procuras como esta foram feitas para planetas em torno da estrela de Barnard, e ambas foram, em alguns aspectos, bem-sucedidas, envolvendo a presença de dois ou mais planetas de massa joviana movendo-se em uma órbita (calculado pela terceira lei de Kepler) um tanto mais próximos de sua estrela que Júpiter e Saturno do Sol. Infelizmente os dois grupos de observações parecem mutuamente incompatíveis. Pode ter sido descoberto um sistema planetário em torno da estrela de Barnard, mas uma demonstração ambígua requer mais estudo.

Outros métodos para detectar planetas em torno das estrelas estão em desenvolvimento, incluindo um onde a luz ofuscante de uma estrela é ocultada artificialmente, por meio de um disco defronte do telescópio, ou utilizando-se o bordo escuro da Lua como um disco, e a luz refletida do planeta, mais escondida pelo brilho de uma estrela próxima, emerge. Nas próximas

décadas deveremos ter respostas definitivas sobre quais das cem estrelas mais próximas possuem grandes companheiros planetários.

Nos últimos anos, as observações em infravermelho revelaram inúmeras nuvens provavelmente pré-planetárias, em forma de disco, de gás e poeira em torno de algumas estrelas próximas. Entrementes, alguns estudos teóricos e estimulantes sugeriram que os sistemas planetários são um lugar-comum galáctico. Um conjunto de investigações feitas através do computador examinou a evolução de um disco achatado, que se condensava, de gás e poeira do tipo que se supõe originarem as estrelas e planetas. Pequenas porções de matéria, as primeiras condensações no disco, são injetadas ao acaso na nuvem. As porções acumulam partículas de poeira à medida que se movem. Quando adquirem um tamanho razoável, também atraem, gravitacionalmente, gás, principalmente hidrogênio, para a nuvem. Quando duas porções que se movem colidem, o programa do computador as une. O processo continua até que todo o gás e poeira tenham sido deste modo consumidos. Os resultados dependem das condições iniciais, particularmente da distribuição da densidade do gás e da poeira, e da distância ao centro da nuvem. Em uma gama de condições iniciais plausíveis, os sistemas planetários são gerados (cerca de dez planetas terrestres próximos à estrela, jovianos, mais externos) reconhecidamente semelhantes ao nosso. Sob outras circunstâncias não há planetas, só laivos de asteróides, ou poderá haver planetas jovianos próximos à estrela, ou um planeta joviano poderá acumular tanto gás e poeira e se tornar uma estrela, origem de um sistema binário. Ainda é cedo para uma certeza, mas parece que será encontrada uma variedade esplêndida de sistemas planetários

Mundo semelhante à Lua, e um planeta apresentando perspectivas de vida perto de uma estrela próxima à Nebulosa de Cabeça de Cavalo, a 1500 anos-luz da Terra. A exploração de um sistema deste tipo é um objetivo exequível à humanidade somente se espaçonaves capazes de viajar a uma velocidade próxima da luz puderem ser desenvolvidas. Criação de David Egge, 1978.

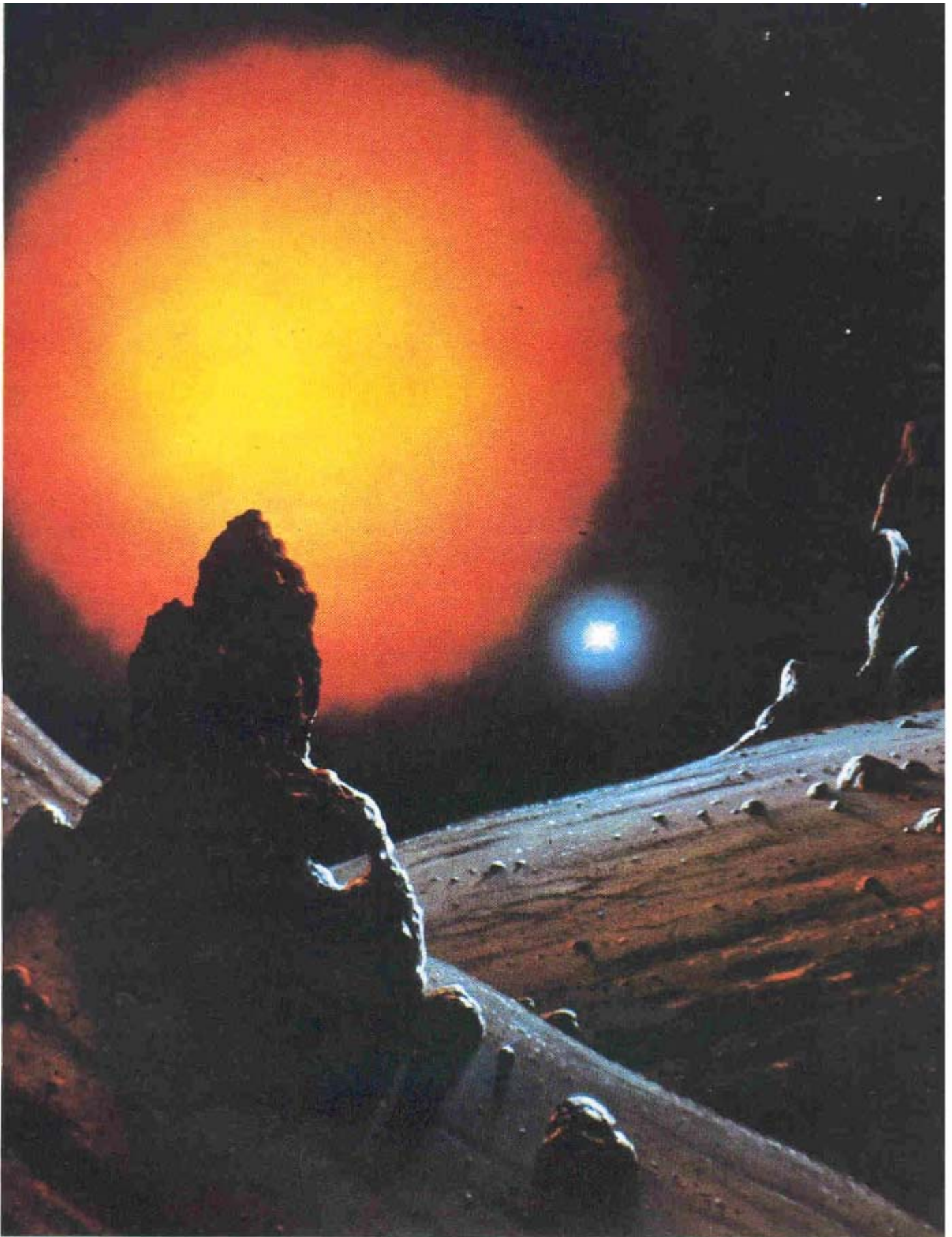


na Galáxia, e, com grande frequência, todas as estrelas devem provir, supomos, destas nuvens de gás e poeira. Deve haver cem bilhões de sistemas planetários na Galáxia esperando para serem explorados.

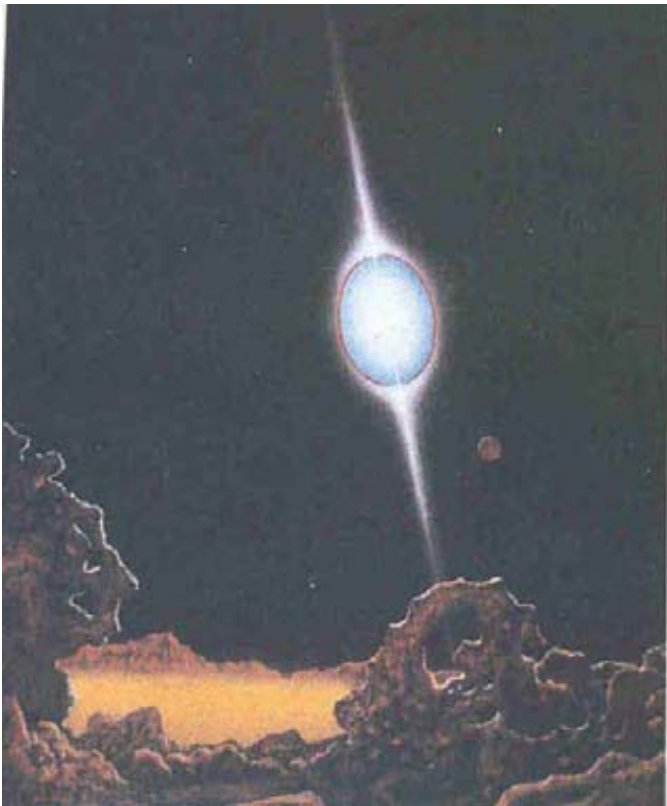
Nenhum desses mundos será idêntico à Terra. Poucos serão hospitaleiros, a maioria hostil. Muitos serão belíssimos. Em alguns mundos haverá muitos sóis durante o céu diurno, muitas luas à noite ou grandes sistemas anelares de partículas elevando-se de horizonte a horizonte. Algumas luas estarão tão próximas que seu planeta aparecerá imenso nos céus, cobrindo metade dele. E haverá mundos que surgirão, dentro de uma grande nebulosa gasosa, remanescentes de uma estrela ordinária que existiu a algum tempo e agora não existe mais. Em todos estes céus, ricos em constelações distantes e exóticas, haverá uma pálida estrela amarela, talvez dificilmente distinguível a olho nu, mas visível através do telescópio, o lar de uma frota de transportes interestelares explorando esta região mínima da grande Via-láctea.

Os temas espaço e tempo são, como vimos, interligados. Mundos e estrelas, como as pessoas, nascem, vivem e morrem. A duração da vida é medida em décadas, a do Sol é cem milhões de vezes maior. Comparados a uma estrela, somos como moscas, esvanecendo como criaturas efêmeras que vivem suas vidas inteiras no curso de um único dia. Do ponto de vista de uma mosca, um ser humano é um clarão diminuto, uma das milhões de vidas breves bruxuleando tenuemente na superfície de uma esfera estranhamente gelada, anormalmente sólida e exotica-mente remota de silicato e ferro.

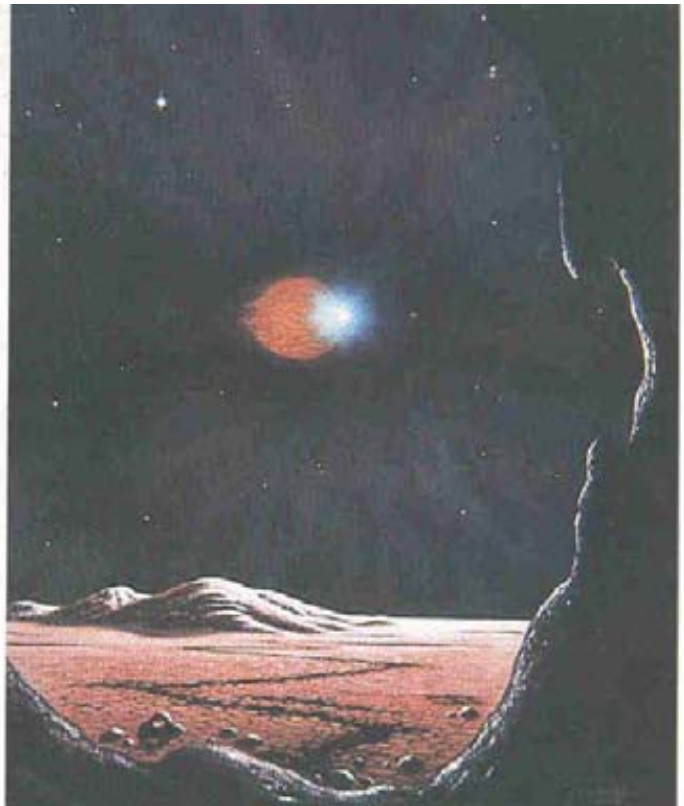
Em todos estes mundos no espaço, há eventos em curso, ocorrências que determinarão seus futuros. E em nosso pequeno planeta, este momento na história é tão profundo como a confrontação dos cientistas jônicos com os místicos, há 2.500 anos. O que fazemos com nosso mundo hoje propagar-se-á através dos séculos e influenciará decisivamente o destino de nossos descendentes e seu caminho, se houver, entre as estrelas.



Planeta com ausência de ar em um sistema estelar binário. Cada objeto lança duas sombras, antivermelha e antiazul. Criação de David Hardy. © David A. Hardy, de *Challenge of the Stars* (Rand McNally).



Planeta hipotético no sistema Pleione. Membro do aglomerado estelar das Plêiades. Pleione está girando tão rapidamente que adquiriu uma forma achatada nos pólos, e o material estelar está se derramando no espaço ao longo do seu equador. Criação de Don Dixon. © Don Dixon, 1974.



Binárias cerradas, uma gigante vermelha e uma anã branca, a última sofrendo uma explosão em nova. O evento consumiu a paisagem planetária. Criação de David Hardy. © David A. Hardy, de *Challenge of the Stars* (Rand McNally).



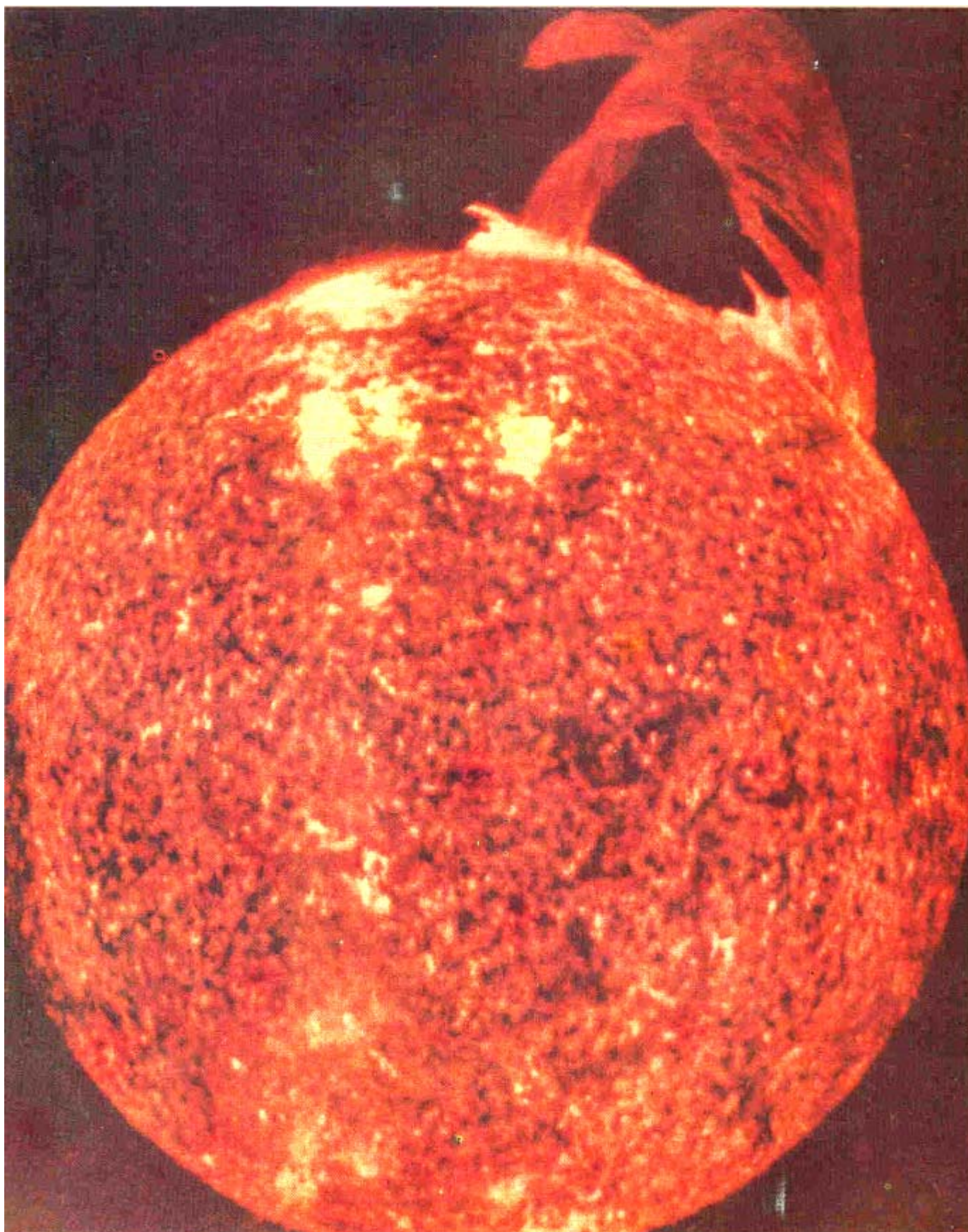
Planeta em órbita de um membro distante de um aglomerado estelar globular. Criação de Don Dixon. © Don Dixon, 1978.



Planeta hipotético perto de um binárias cerradas, cujas atmosferas estelares estão sendo perdidas no espaço em forma de uma grande espiral orbitando as duas estrelas. Criação de David Hardy. © David A. Hardy, de *Challenge of the Stars* (Rand McNally).



As Plêiades à noite, vistas de uma caverna de gelo em um planeta hipotético próximo. Devido ao aglomerado estelar das Plêiades ter-se formado somente em tempos recentes, este mundo é muito jovem. Criação de David Egge.



A estrela mais próxima: o Sol visto na luz do hélio ionizado em ultravioleta distante. A protuberância solar, surgindo no topo à direita, se estende momentaneamente a cerca de 300.000 quilômetros no espaço até que retorne ao gás em chamas, que forma a superfície visível do Sol. As pequenas manchas de gás aquecido visíveis nesta foto da superfície solar têm perto do tamanho da Terra. Foto Skylabs4, cortesia da NASA.



Capítulo IX

AS VIDAS DAS ESTRELAS

Abrindo seus dois olhos, [Ra, o deus-sol] lançou a luz sobre o Egito e separou a noite do dia. Os deuses vieram da sua boca, e a humanidade, dos seus olhos. Todas as coisas provieram dele, a criança que brilha no lótus e cujos raios são a causa da vida dos seres.

— Encantamento do Egito ptolomaico.

Deus é capaz de criar as partículas de matéria de vários tamanhos e feitios... e talvez de diferentes divindades e forças, e assim variar as leis da Natureza, e fazer mundos de vários tipos em várias partes do Universo. Pelo menos, não vejo nada de contraditório nisto.

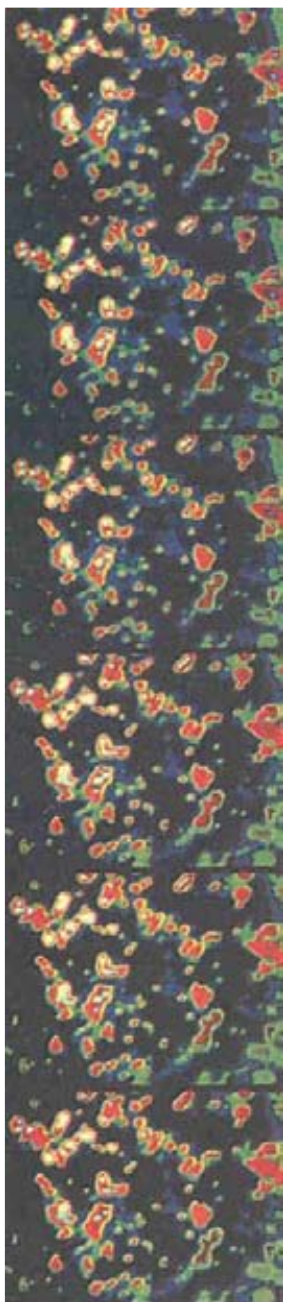
— Isaac Newton, *Óptica*.

Temos o céu, lá em cima, todo pintado de estrelas, e costumamos deitar de costas e olhar para elas, e discutir se foram feitas ou se simplesmente aconteceram.

— Mark Twain, *Huckleberry Finn*

Eu tenho... uma terrível necessidade... devo dizer a palavra?... de religião. Então saio para a noite e pinto as estrelas.

— Vincent van Gogh



Átomos em movimento: filme das alterações em uma base de carbono (mostrado em azul e preto) pelos movimentos casuais dos átomos de urânio (mostrados em vermelho). Demócrito teria apreciado este filme. Cortesia de Albert Crewe, University of Chicago.

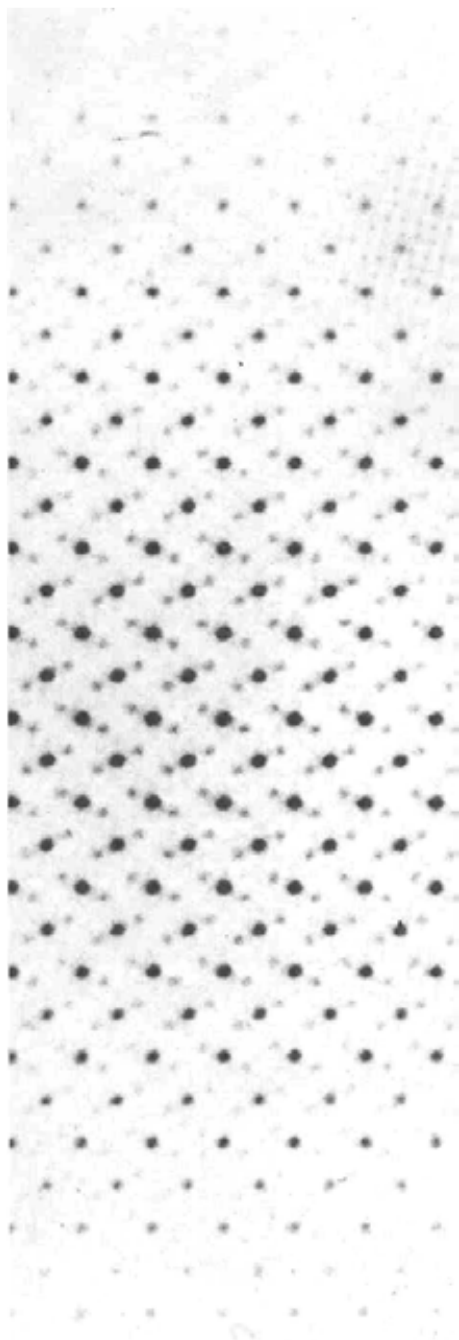
PARA FAZER UMA TORTA DE MAÇÃS precisamos de farinha de trigo, maçãs, uma porção disto, outra daquilo, e do calor do forno. Os ingredientes são formados de moléculas, por exemplo, açúcar e água. As moléculas, por sua vez, são formadas de átomos, carbono, oxigênio, hidrogênio e alguns outros. De onde vêm estes átomos? Exceto pelo hidrogênio, todos são formados nas estrelas. Uma estrela é um tipo de cozinha cósmica na qual os átomos de hidrogênio são cozinhados em átomos mais pesados. As estrelas se condensam do gás e poeira interestelares, os quais são compostos principalmente de hidrogênio. Mas o hidrogênio foi formado no *Big Bang*, a explosão que deu início ao Cosmos. Se você quiser fazer uma torta de maçã do resto, terá primeiro que inventar o universo.

Suponhamos que você tenha uma torta de maçã e a divida em dois pedaços. Pegue um deles e o divida novamente ao meio. Lembrando Demócrito, continue. Quantos cortes serão necessários até chegar a um único átomo? A resposta é em torno de noventa cortes sucessivos. Naturalmente, nenhuma faca é afiada o suficiente, a torta é muito fracionável e o átomo de qualquer forma muito pequeno para ser visto a olho nu. Mas há um modo de fazê-lo.

Na Universidade de Cambridge, Inglaterra, nos quarenta e cinco anos por volta de 1910, a natureza do átomo foi entendida pela primeira vez, em parte disparando pedaços de átomos em outros átomos e observando como eles saltavam. Um átomo típico possui uma espécie de nuvem de elétrons em seu exterior. Os elétrons são carregados eletricamente, como seu nome sugere. A carga é arbitrariamente chamada negativa. Os elétrons determinam as propriedades químicas do átomo, o brilho do ouro, a sensação fria do ferro, a estrutura cristalina do diamante de carbono. Bem dentro do átomo, escondido além da nuvem de elétrons, está o núcleo, em geral composto de prótons carregados positivamente e nêutrons, eletricamente neutros. Os átomos são muito pequenos — uma centena de bilhão deles de lado a lado seria do tamanho da ponta do seu dedo mínimo. Mas o núcleo é cem mil vezes menor ainda, o que justifica em parte a demora para ser descoberto.* Entretanto, a maior parte da massa de um átomo está em seu núcleo; os elementos são, por comparação, nuvens de penugem em movimento. Os átomos são principalmente espaço vazio. A matéria é composta principalmente de nada.

Sou feito de átomos. Meu cotovelo, que está repousando sobre a mesa diante de mim, é feito de átomos. A mesa é feita de átomos. Mas se os átomos são tão pequenos e vazios, e os núcleos menores ainda, por que a mesa agüenta o peso dos meus braços? Por que, como gostaria de perguntar Arthur Ed-

*Pensava-se anteriormente que os prótons eram distribuídos uniformemente na nuvem de elétrons, mais do que concentrados em um núcleo de carga positiva no centro. O núcleo foi descoberto por Ernest Rutherford, em Cambridge, onde algumas das partículas enviadas saltavam de volta na direção da qual tinham vindo. Rutherford comentou: "Foi o evento quase inacreditável que aconteceu em minha vida. Foi quase tão inacreditável como se você disparasse um projétil [de um canhão] de 15 polegadas em direção a um pedaço de papel de seda e ela voltasse e atingisse você."



Átomos de marcassita, ampliados 4,5 milhões de vezes por um microscópio, utilizando a luz visível e o raio X. A marcassita é um cristal no qual a unidade FeS_2 é repetida, Fe representando o ferro (manchas grandes) e S para enxofre (mancha pequena formada por um par ao lado de cada átomo de ferro). Cortesia do Institute Professor Marin J. Buerger, Massachusetts Institute of Technology.

não haver espaço em nenhum lugar vazio, ainda haveria somente cerca de 10^{128} partículas nele, pouco mais do que googol, mas trivialmente pequeno se comparado a um googolplexo. E, embora esses números, o googol e o googolplexo, não sejam próximos, eles não chegam perto da idéia do infinito. Um googolplexo está *precisamente* tão longe do infinito quanto o número um. Podemos tentar escrever um googolplexo, mas é somente uma ambição. Um pedaço de papel grande o suficiente para conter todos os zeros de um googolplexo escritos explicitamente não poderia ser atestado no universo conhecido. Felizmente há um modo mais simples e bem conciso de se escrever um googolplexo: $10^{10^{100}}$ — infinito, ou ∞ .

Em uma torta de maçã queimada, o carvão será principalmente carbono. Noventa cortes e chegaremos a um átomo de carvão, com seis prótons, seis nêutrons em seu núcleo e seis elétrons em sua nuvem exterior. Se retirarmos um pedaço do núcleo, por exemplo, com dois prótons e dois nêutrons, não será um núcleo de um átomo de carbono, mas sim o núcleo de um átomo de hélio. Este corte ou fissão do núcleo atômico ocorre em armas nucleares e em máquinas convencionais de potência nuclear, embora não seja o carbono que se parte. Se fizermos o nonagésimo primeiro corte na torta de maçã, se partirmos um núcleo de carbono, não faremos um pedaço ainda menor de carbono, mas alguma coisa a mais, um átomo com propriedades químicas inteiramente diferentes. Quando cortamos um átomo, transmutamos os elementos.

Suponhamos que prosseguíssemos. Os átomos são formados de prótons, nêutrons e elétrons. Podemos partir um próton? Se bombardearmos os prótons com altas energias de outras partículas elementares, outros prótons, por exemplo, começaremos a ver de relance unidades mais fundamentais escondendo-se dentro do próton. Os físicos propõem que as chamadas partículas elementares como prótons e nêutrons são, na verdade, formadas de partículas ainda mais elementares chamadas quarks, que aparecem em uma variedade de "cores" e "sabores", pois suas propriedades foram denominadas em uma tentativa pungente de tornar o mundo subnuclear um pouquinho mais familiar. Serão os quarks os últimos constituintes da matéria, ou serão eles também compostos de partículas ainda menores e *mais* elementares? Chegaremos nós a um ponto final em nossa compreensão da natureza da matéria, ou haverá uma regressão infinita em partículas cada vez mais fundamentais? Este é um dos grandes problemas sem solução da ciência.

A transmutação dos elementos foi realizada em laboratórios da idade medieval em uma pesquisa chamada alquimia. Muitos alquimistas acreditavam que toda a matéria era uma mistura de quatro substâncias elementares: água, ar terra e fogo, uma antiga especulação jônica. Alterando as proporções

relativas da terra e do fogo, por exemplo, eles pensavam que seriam capazes de transformar o cobre em ouro. O campo da alquimia estava apinhado de homens encantadores, mas embusteiros e pesquisadores, como Cagliostro e o Conde de Saint-Germain, que pretendiam não somente transmutar os elementos, mas também possuir o segredo da imortalidade. Algumas vezes o ouro era escondido em um bastão com um fundo falso para aparecer miraculosamente no momento cruciante ao término de uma árdua demonstração experimental. Tendo a opulência e a imortalidade como chamarizes, a nobreza européia descobriu-se transferindo grandes somas para os praticantes desta arte duvidosa. Mas houve alquimistas sérios, como Paracelso e mesmo Isaac Newton. O dinheiro não foi totalmente desperdiçado, novos elementos químicos como o fósforo, o antimônio e o mercúrio foram descobertos. Em verdade, a origem da química moderna está ligada diretamente a estas experiências.

Há noventa e dois tipos quimicamente distintos de átomos de ocorrência natural. São chamados de elementos químicos e até recentemente constituíam tudo em nosso planeta, embora fossem encontrados principalmente combinados em moléculas. A água é uma molécula formada de átomos de hidrogênio e oxigênio. O ar é formado principalmente de átomos de nitrogênio (N), oxigênio (O), carbono (C), hidrogênio (H) e argônio (Ar), nas fórmulas moleculares N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O e Ar. A própria Terra é uma mistura rica de átomos, principalmente silício*, oxigênio, alumínio, magnésio e ferro. O fogo não é formado de elementos químicos. É um plasma radiante no qual a alta temperatura retirou alguns dos elétrons do seu núcleo. Nenhum dos quatro "elementos" jônicos antigos e alquímicos é, no sentido moderno, um elemento realmente: um é uma molécula, dois são misturas de moléculas e o último é um plasma.

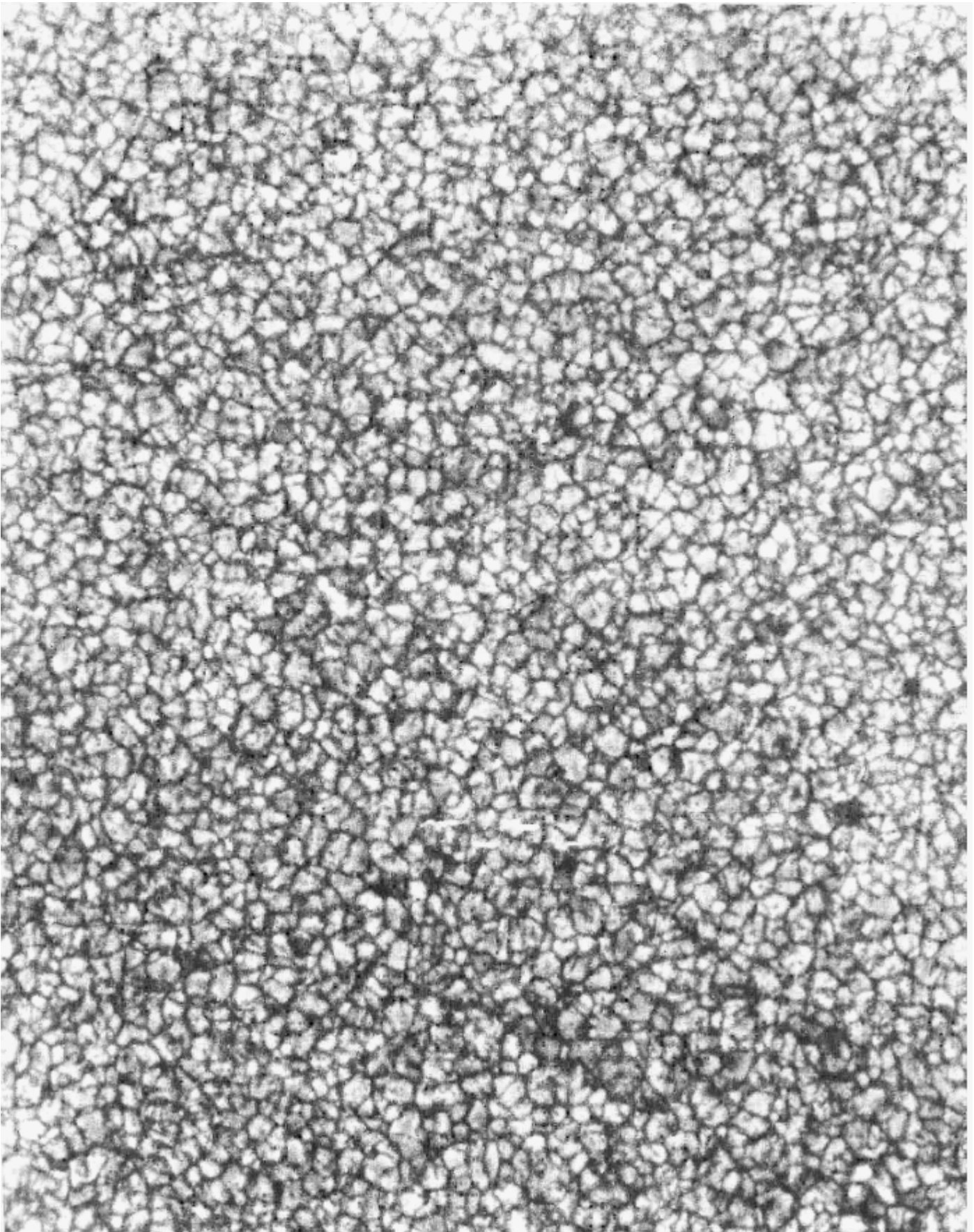
Desde o tempo dos alquimistas, foram descobertos mais e mais elementos, o último parecendo ser o mais raro. Alguns são sólidos, outros gasosos e dois líquidos (bromo e mercúrio) à temperatura ambiente. Os cientistas convencionalmente os arrumam em ordem de complexidade. O mais simples, o hidrogênio, é o elemento 1; o mais complexo, o urânio, é o elemento 92. Outros elementos são menos familiares: háfnio, érbio, disprósio e praseodímio, por exemplo, com os quais não nos deparamos muito na vida diária. De um modo geral, quanto mais familiar um elemento, mais abundante ele é. A Terra contém uma grande quantidade de ferro e bem menos de ítrio. Há, naturalmente, exceções a esta regra, como o ouro ou o urânio, elementos valorizados pelas convenções econômicas arbitrárias ou julgamentos estéticos, ou por terem aplicações reconhecidamente práticas.

O fato dos átomos serem compostos de três tipos de partículas elementais, prótons, nêutrons e elétrons, é uma descoberta comparativamente recente. O nêutron foi descoberto somente em



Representação de alguns dos 92 elementos químicos que existem naturalmente. O número atômico (igual ao número de prótons — ou elétrons) é representado para cada elemento em vermelho; o número de nêutrons, em preto. O peso atômico é igual ao número de prótons mais o de nêutrons, no núcleo atômico. Sob pressões e temperaturas típicas terrestres, alguns elementos são sólidos (p. ex., selênio, número atômico 34), outros líquidos (p. ex., bromo, 35), e outros são gases (p. ex., criptônio, 36).

*O silício é um átomo. O silicone é uma molécula, uma das bilhões de variedades diferentes contendo silício. Silício e silicone possuem propriedades e aplicações diferentes.

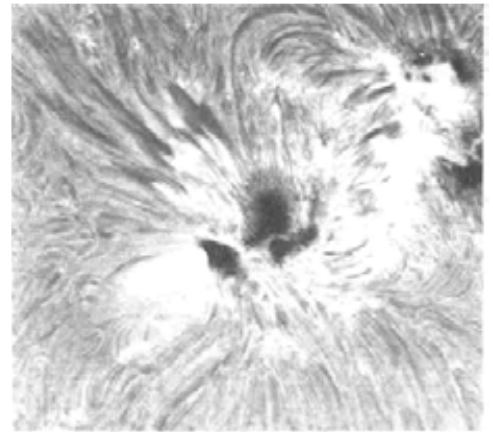


A superfície turbulenta do Sol. Vemos a granulação, os compartimentos solares nos quais o gás aquecido sobe e submerge. Cada célula turbulenta tem cerca de 1.000 quilômetros de largura, a distância de Paris a Kiev. Fotografia em luz amarela comum do Observatório Pic du Midi, França.

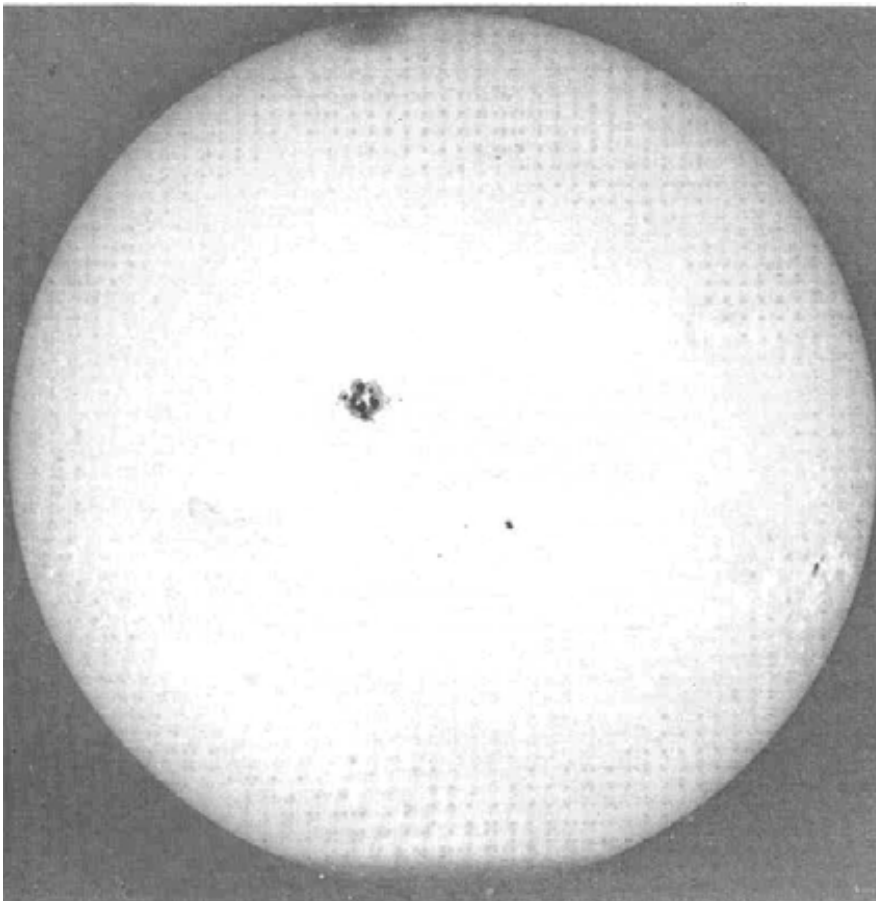
1932. A física e a química modernas reduziram a complexidade do mundo sensível a uma simplicidade atordoante: três unidades colocadas juntas em várias formas fazem, essencialmente, tudo.

Os nêutrons, como dissemos e seu nome sugere, não possuem carga elétrica. Os prótons possuem uma carga positiva e os elétrons outra igual, porém negativa. A atração entre as cargas opostas de elétrons e prótons é o que sustenta o átomo. Uma vez que cada átomo é eletricamente neutro, o número de prótons no núcleo deve ser exatamente igual ao número de elétrons na nuvem eletrônica. A química de um átomo depende somente do número de elétrons, que é igual ao número de prótons, o qual é chamado de número atômico. A química é simplesmente números, uma idéia que teria agradado a Pitágoras. Se você é um átomo com um próton, você é um hidrogênio; dois, hélio; três, lítio; quatro, berílio; cinco, boro; seis, carbono; sete, nitrogênio; oito, oxigênio e assim por diante até 92 prótons, cujo nome é urânio.

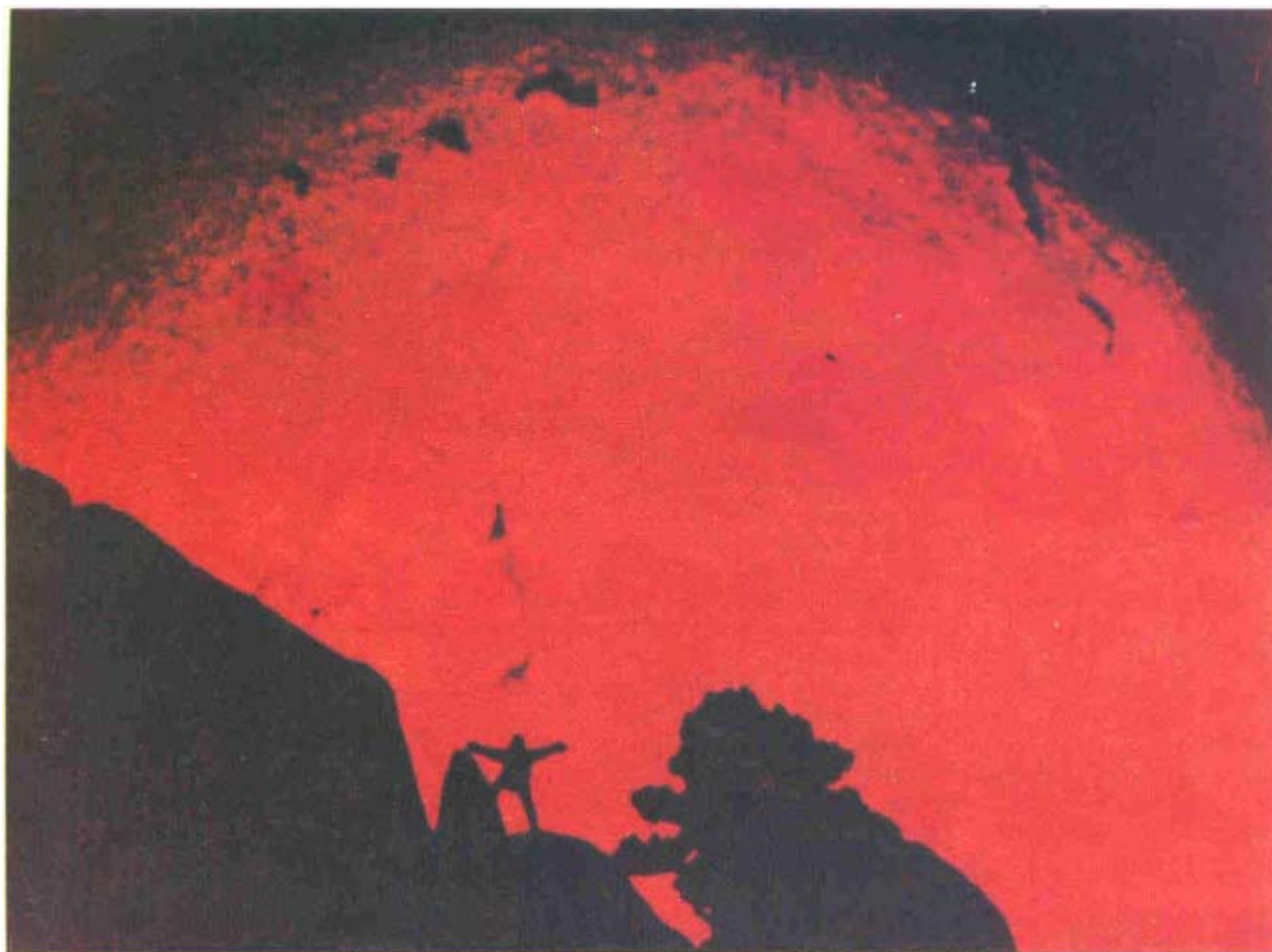
As cargas iguais, com o mesmo sinal, repelem-se firmemente. Podemos pensar nelas como uma aversão mútua ao seu próprio tipo, como se o mundo fosse densamente povoado por eremitas e misantropos. Elétrons repelem elétrons, prótons repelem prótons. Então como um núcleo se mantém coeso? Por que não se fragmenta instantaneamente? Porque há uma outra força da natureza que não é a gravidade e nem a eletricidade, mas uma força nuclear de pequeno alcance, a qual, como um grupo de ganchos que se prende somente quando os prótons e os nêutrons ficam muito próximos, suplantando deste modo a repulsão elétrica



Close-up de um grupo de manchas solares em luz vermelha de hidrogênio. As manchas solares são regiões comparativamente mais frias com campos magnéticos mais fortes. As "espículas" escuras adjacentes são ordenadas pelo magnetismo local, como a limalha do ferro o é pelo ímã. Os "turbilhões" brilhantes adjacentes estão associados ao aparecimento de grandes tempestades chamadas flares solares. Cortesia do Big Bear Observatory.



Fotosfera do Sol, região na atmosfera solar da qual a luz visível ordinária é irradiada para o espaço. Esta fotografia foi tirada próximo a um máximo da atividade solar, que acontece a cada 11,2 anos. Nesta época podem haver 100 manchas solares separadas e visíveis. Elas são mais escuras do que as regiões à sua volta, porque são cerca de 2000°C mais frias. As manchas solares foram vistas pela primeira vez por Galileo, embora sob condições favoráveis, ao pôr-do-sol por exemplo, elas possam ser vistas a olho nu. Cortesia de Cary Chapman, San Fernando Observatory, California State University, Northridge.



Uma forma de vida e sua estrela. Através de um telescópio solar equipado com um filtro que deixa passar somente a luz vermelha emitida pelo gás de hidrogênio aquecido, as manchas solares aparecem escuras. No primeiro plano, em uma montanha, está um ser humano exultante. Cortesia da National Oceanic and Atmospheric Administration. Fotografia de Joseph Sutorick.

entre os prótons. Os nêutrons, que contribuem com forças nucleares de atração e nenhuma força elétrica de repulsão, providenciam um tipo de cola que ajuda a manter o núcleo coeso. Ansiando pela solidão, os eremitas foram atados aos seus colegas rabugentos e colocados entre outros indiscriminadamente segundo uma amabilidade volúvel.

Dois prótons e dois nêutrons formam o núcleo do átomo de hélio, que é muito estável. Três núcleos de hélio formam um núcleo de carbono; quatro, oxigênio; cinco, neônio; seis, magnésio; sete, silício; oito, enxofre, e assim por diante. Cada vez que adicionamos um ou mais prótons e nêutrons suficientes para manter o núcleo coeso, formamos um novo elemento químico. Se subtrairmos um próton e três nêutrons do mercúrio, formamos o ouro, o sonho dos antigos alquimistas. Além do urânio, há outros elementos que não existem naturalmente na Terra. São sintetizados pelos seres humanos e, na maioria dos casos, prontamente se fragmentam. Um deles, o Elemento 94 é chamado plutônio, sendo uma das substâncias mais tóxicas conhecidas. Infelizmente ele se fragmenta muito lentamente. De onde provêm os elementos que existem naturalmente? Podemos observar uma criação separada de cada espécie atômica. Mas o universo, todo ele, quase em todos os locais, é 99%

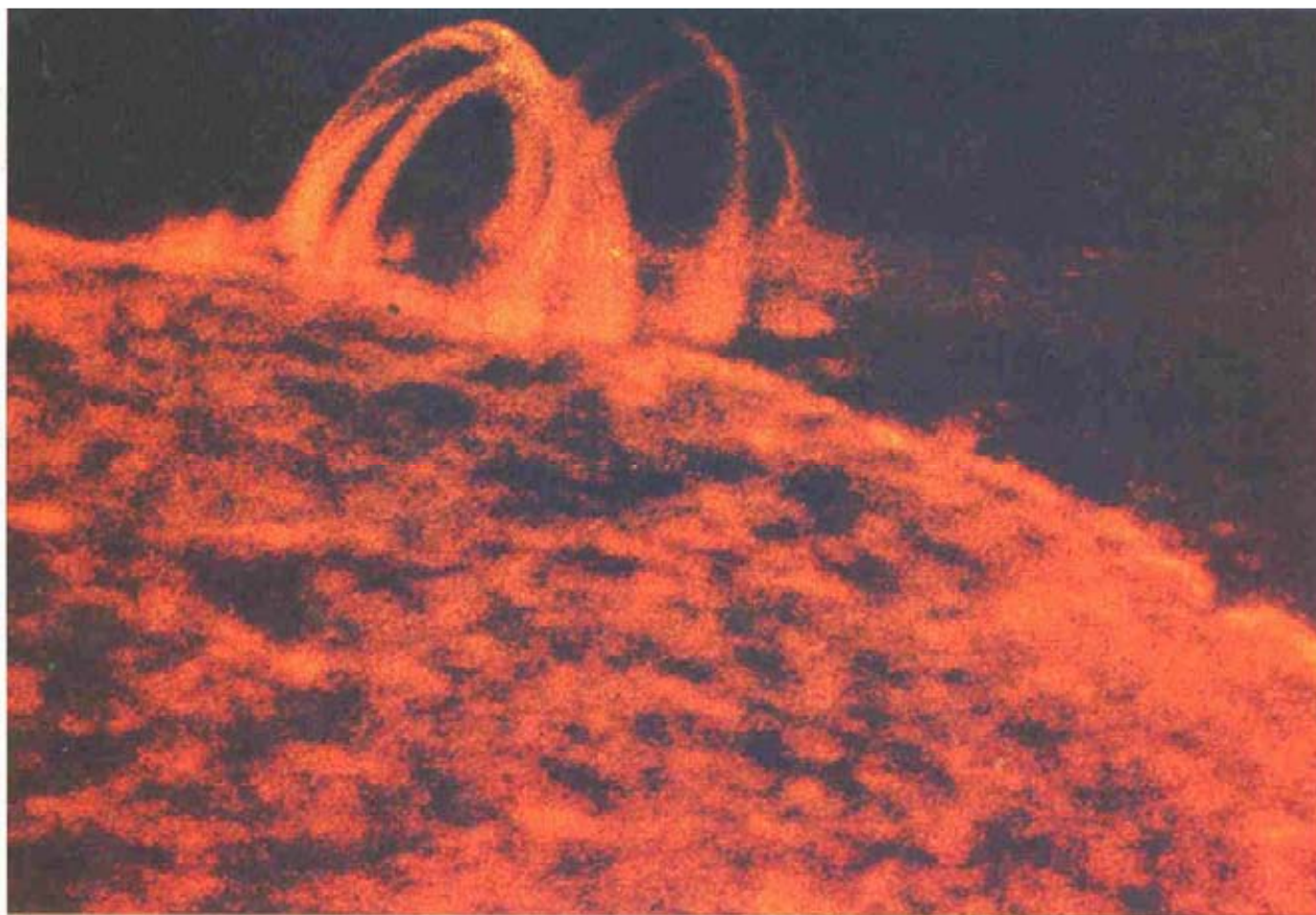
hidrogênio e hélio*, os dois elementos mais simples. Em verdade, o hélio foi detectado no Sol antes de ser descoberto na Terra, sendo esta a razão do seu nome (Hélio, um dos deuses gregos do Sol). Serão os outros elementos químicos de algum modo provenientes do hidrogênio e do hélio? Para equilibrar a repulsão elétrica, pedaços de matéria nuclear devem ser colocados muito próximos para que as forças nucleares, de pequeno alcance, operem. Isto só pode acontecer em temperaturas muito elevadas, quando as partículas se movem tão rapidamente que as forças repulsivas não têm tempo para agir; temperaturas de dezenas de milhões de graus. Na natureza, estas temperaturas elevadas e altas pressões que as acompanham são comuns somente no interior das estrelas.

Examinamos o Sol, a estrela mais próxima, em vários comprimentos de onda, desde a onda de rádio até a luz visível ordinária e aos raios X, todos surgindo somente das suas camadas mais externas. Não é exatamente uma pedra vermelha e quente, como pensou Anaxágoras, mas uma grande bola de hidrogênio e hélio, brilhando em consequência das altas temperaturas, do mesmo modo que um atizador de fogo fica em brasa quando é levado ao calor do fogo por algum tempo. Anaxágoras estava pelo menos em parte correto. Violentas tempestades solares produzem flares brilhantes que interrompem as comunicações de rádio na Terra; e imensas plumas arqueadas de gás aquecido, guiadas pelo campo magnético solar, as proeminências solares, que fazem a Terra parecer uma anã diante delas. As manchas solares, algumas vezes visíveis a olho nu ao pôr-do-sol, são regiões mais frias, com campos magnéticos mais intensos. Toda esta atividade incessante, giratória e turbulenta se processa na superfície visível comparativamente fria. Vemos somente temperaturas de cerca de 6.000 graus, mas o interior oculto do Sol, onde a luz solar é gerada, tem 40 milhões de graus.**

As estrelas e seus planetas companheiros nascem do colapso gravitacional de uma nuvem de gás e poeira interestelares. A colisão das moléculas de gás no interior da nuvem aquece-a eventualmente ao ponto onde o hidrogênio começa a se transformar em hélio: quatro núcleos de hidrogênio se combinam para formar um núcleo de hélio, com uma liberação subordinada de um fóton de raio gama. Sofrendo absorção e emissão alternadas pela matéria subjacente, trabalhando gradualmente em direção à superfície da estrela, perdendo energia a cada etapa, a jornada épica do fóton leva um milhão de anos, como luz visível, atinge a superfície sendo irradiado para o espaço. A estrela se transforma. O colapso da nuvem pré-estelar foi detido. O peso das camadas exteriores da estrela é agora suportado por temperaturas e pressões altas geradas no interior das reações nucleares.

* A Terra é uma exceção, pois o nosso hidrogênio primordial, preso somente pela atração gravitacional comparativamente fraca do nosso planeta, já escapou, atualmente em sua maior parte, para o espaço. Júpiter, com uma gravidade mais massiva, reteve pelo menos muito do seu complemento original do elemento mais leve de todos.

**Estudos recentes com base em análises de neutrinos indicam que a temperatura interior oscila entre 15 e 20 milhões de graus.

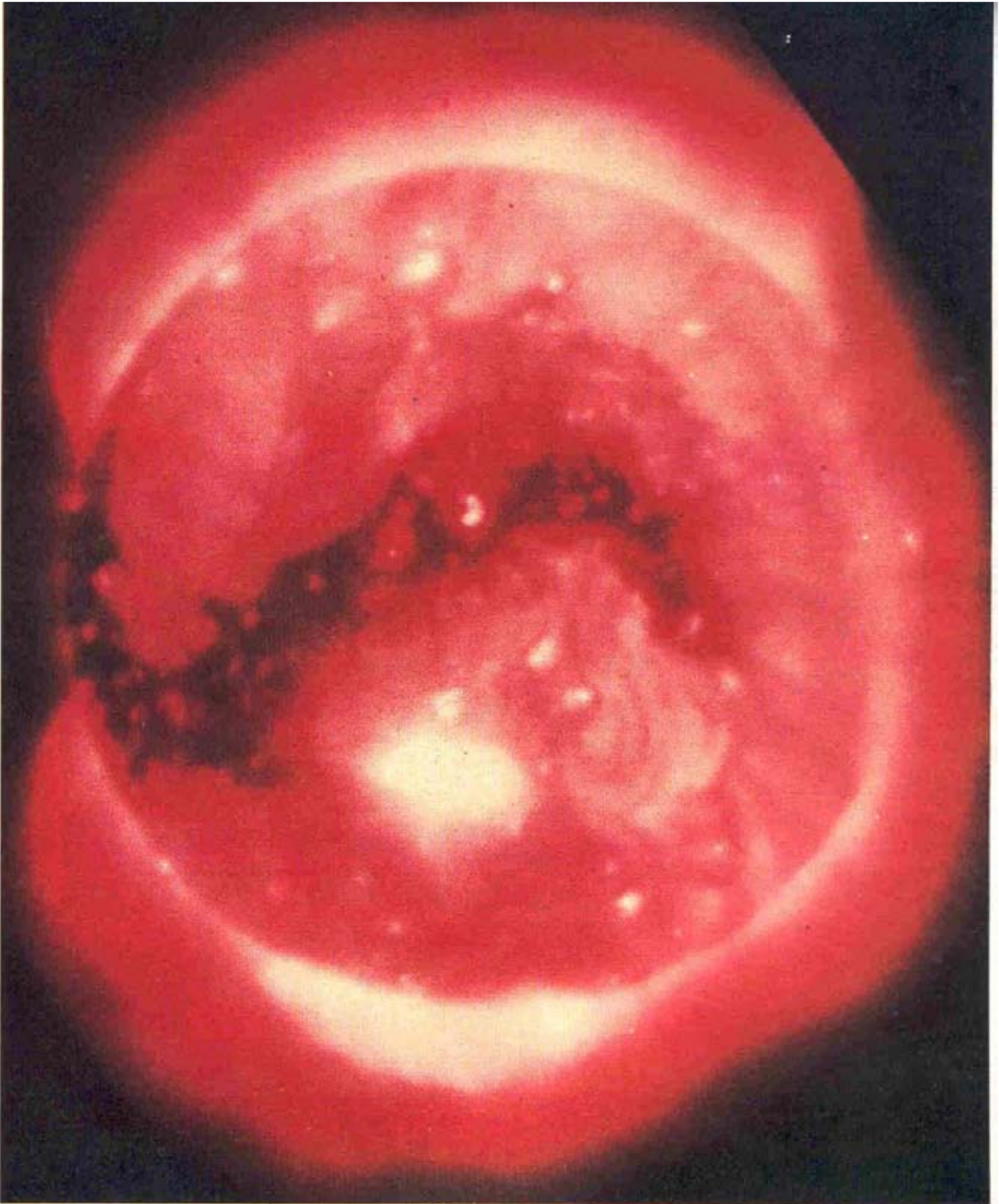


Alças de gás ionizado aquecido acima de uma região solar ativa, compelidas a seguir as linhas de força magnéticas locais, como as limalhas de ferro no campo de um ímã. Esta foto do Skylab foi tirada em luz ultravioleta distante. Tal luz é prontamente absorvida pela atmosfera terrestre, de modo que estas imagens só podem ser obtidas de satélites da Terra ou sondas interplanetárias. Cortesia da NASA.

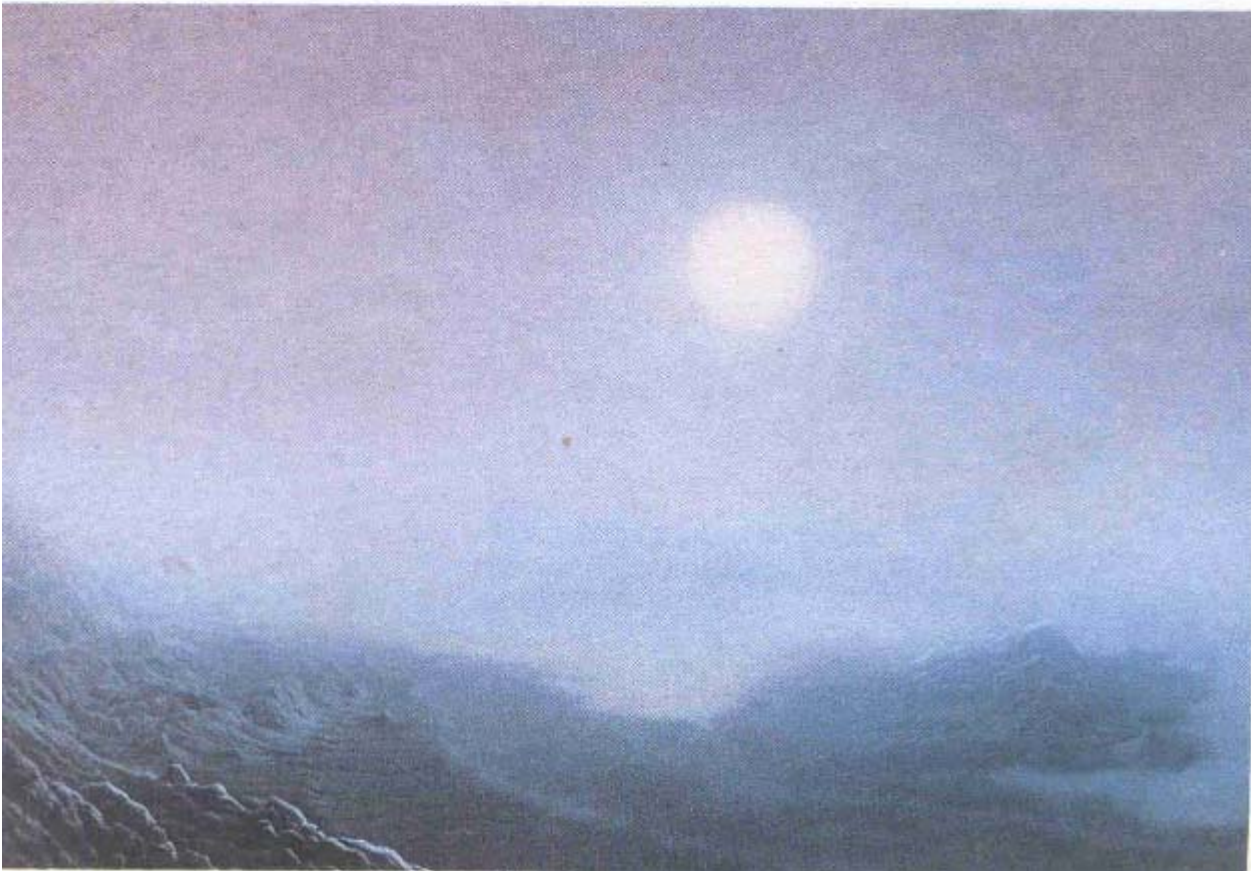
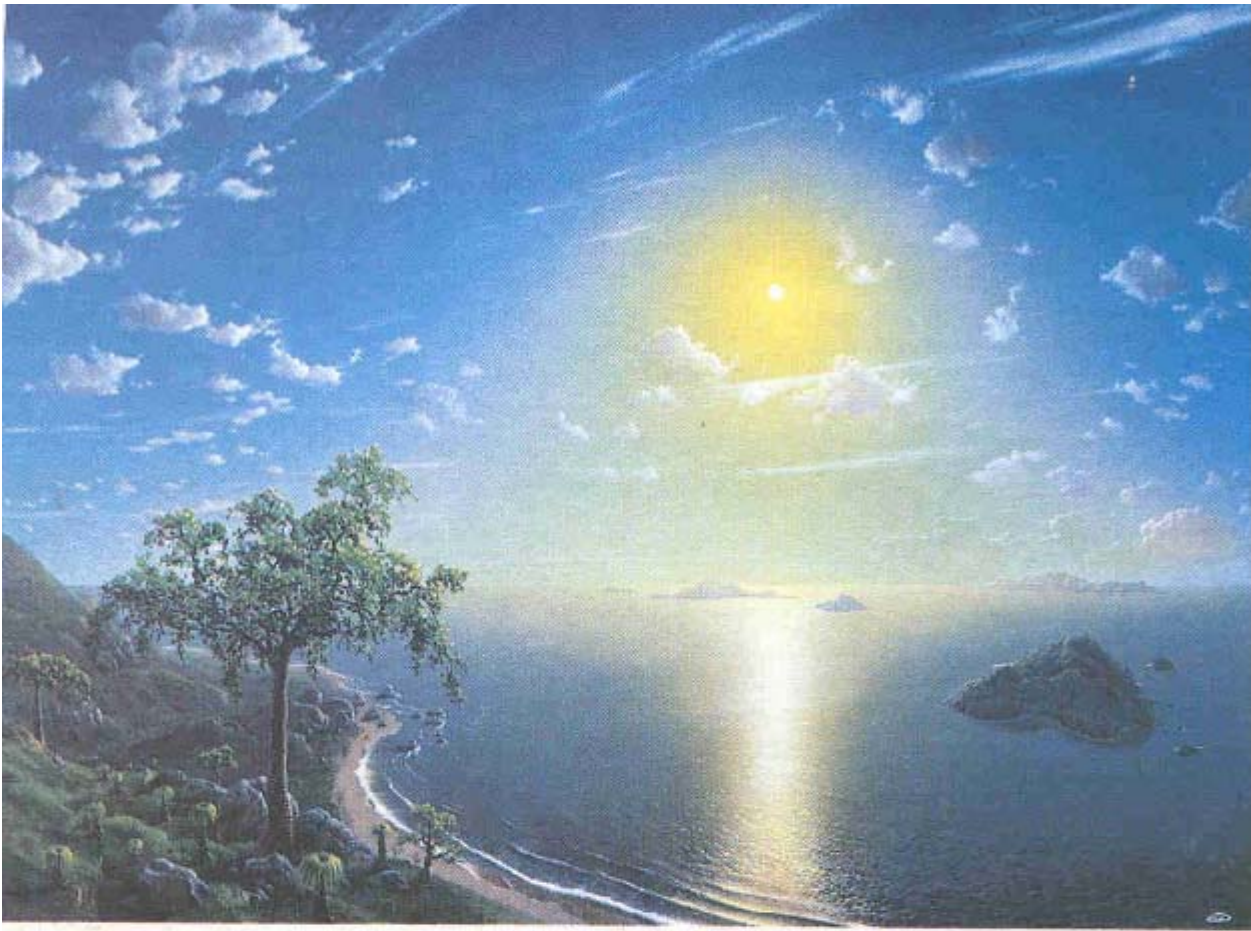
O Sol tem estado nesta situação estável nos últimos cinco bilhões de anos. Reações termonucleares, como as em uma bomba de hidrogênio, potencializam o Sol em uma explosão contida e contínua, convertendo cerca de quatrocentos milhões de toneladas (4×10^{14} gramas) de hidrogênio em hélio a cada segundo. Quando olhamos para cima à noite e vemos as estrelas, tudo o que vemos está brilhando por causa da fusão nuclear distante.

Na direção da estrela Deneb, na constelação de Cygnus (Cisne), está uma enorme superbolha brilhante de gás extremamente quente, provavelmente produzida por explosões em supernova, a morte das estrelas, próxima do centro da bolha. Na periferia, a matéria interestelar está comprimida pela onda de choque da supernova, engatilhando novas gerações de nuvens colapsadas e formação de estrela. Neste sentido, as estrelas possuem pais, e também, como acontece algumas vezes com os seres humanos, a mãe pode morrer ao nascimento do filho.

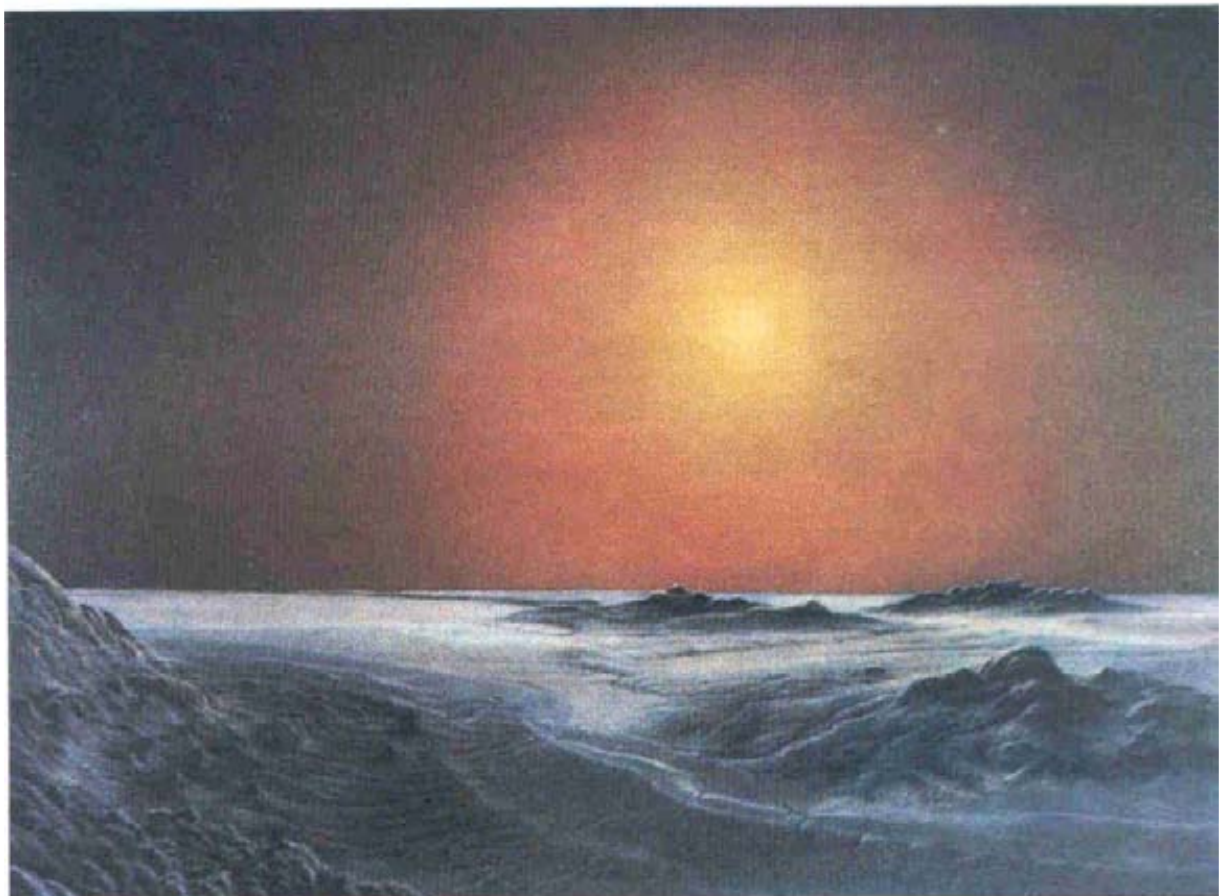
Estrelas como o Sol nascem em lotes, em grandes complexos nebulosos comprimidos, como a Nebulosa de Órion. Vistas de fora, estas nebulosas parecem escuras e sombrias, mas no interior elas são iluminadas brilhantemente pelas estrelas recém-nascidas quentes (pág. 230). Posteriormente, as estrelas saem de seu berço para procurar pelo seu destino na Via-láctea, estrelas adolescentes ainda circundadas por tufos de nebulosidade brilhante; resíduos ainda atados gravitacionalmente de



Cavidade na coroa do Sol. Circundando a fotostera solar está a fina atmosfera exterior do Sol, a uma temperatura de milhões de graus, que altera a sua forma nos 11,2 anos do ciclo solar. A coroa é vista aqui em raios X fracos, como um halo vermelho em torno do Sol. A cavidade coronal é a forma de bota no centro. Através destas cavidades jorram os prótons e elétrons do vento solar no seu caminho entre os planetas para o espaço interestelar. Foto do Skylab, cortesia da NASA.



A morte da Terra e do Sol. Daqui a vários bilhões de anos, haverá um último dia perfeito (*acima, à esquerda*). Então, por um período de milhões de anos, o Sol se avolumará, a Terra se aquecerá, muitas formas de vida serão extintas, e os bordos da linha costeira se retrairão (*acima, à direita*). Os oceanos rapidamente se evaporarão (*abaixo, à esquerda*) e a atmosfera escapará para o espaço.



Enquanto o Sol evolui para uma gigante vermelha (*abaixo, à direita*) a Terra se tornará seca, estéril e sem ar. Por fim, o Sol preencherá quase que todo o céu, podendo engolfar a Terra. Criação de Adolf Scheller.



A Nebulosa Trífida na constelação de Sagitário, a vários milhares de anos-luz. As estrelas envoltas pela nebulosa fazem o gás brilhar. A maioria das que vemos aqui não está envolvida na nebulosa, mas se encontra entre ela e nós. As partes escuras na nebulosa são formadas de poeira interestelar. Cortesia dos Hale Observatories.



A Nebulosa de Órion, o maior complexo de gás e poeira conhecido na Via-láctea. A primeira pessoa a determinar estrelas separadas na região interior nesta nebulosa foi Christiaan Huygens, em 1656. O gás é excitado pelas estrelas jovens e quentes, recentemente formadas, talvez há somente 25.000 anos. Hoje em dia a nebulosa é visível a olho nu. Será que os nossos ancestrais a conheciam há 100.000 anos? Cortesia dos Hale Observatories.

seu gás amniótico. As Plêiades (pág. 231) são um exemplo. Como nas famílias dos seres humanos, as estrelas em amadurecimento viajam para longe de casa, os parentes pouco se vendo. Em alguns locais da Galáxia há estrelas, talvez dúzias delas, irmãs e irmãos do Sol, formados do mesmo complexo nebuloso, há 5 bilhões de anos. Não sabemos quais são elas. Podem estar, pelo que conhecemos, no outro lado da Via-láctea.

A conversão do hidrogênio em hélio no centro do Sol não somente justifica o seu brilho em fótons de luz visível, mas também produz uma irradiação de um tipo mais misterioso e fantasmagórico. O Sol brilha palidamente em neutrinos, os quais, como os fótons, não pesam nada e viajam com a velocidade da luz.

Mas os neutrinos não são fótons. Não são um tipo de luz. Os neutrinos, têm o *mesmo momentum* angular intrínseco, ou giro, como os prótons, elétrons e nêutrons; enquanto os fótons têm duas vezes o mesmo giro. A matéria é transparente para os neutrinos, que a atravessa quase que sem esforço na Terra e no Sol. Somente uma fração mínima deles é detida pela matéria. Quando olho para o Sol por um segundo, um bilhão de neutrinos passa através do meu globo ocular. Naturalmente, eles não param na retina como os fótons ordinários, mas continuam inalterados atravessando a minha cabeça. O curioso é que, se à noite eu olhar para o chão em direção ao local onde o Sol deveria estar (se a Terra não estivesse no caminho), quase exatamente o mesmo número de neutrinos solares passaria pelo meu globo ocular vertendo da Terra interposta, que é transparente para eles como o vidro claro é para a luz visível.

Se o nosso conhecimento do interior solar for completo como julgamos, e se também entendermos a física nuclear que forma os neutrinos, seremos então capazes de calcular com uma precisão razoável quantos neutrinos solares recebemos em uma determinada área, como a do meu globo ocular, em uma dada unidade de tempo, como um segundo. A confirmação experimental dos cálculos é muito mais difícil. Uma vez que os neutrinos passam diretamente pela Terra, não podemos segurá-los. Em uma grande quantidade de neutrinos, uma pequena fração interagirá com a matéria e em circunstâncias apropriadas serão detectados. Em raras ocasiões os neutrinos podem converter os átomos de cloro em átomos de argônio, com o mesmo número total de prótons e nêutrons. Para detectar o fluxo de neutrino solar previsto, necessitamos de uma imensa quantidade de cloro, de modo que físicos americanos verteram um enorme volume de líquido para limpeza na mina de Homestake em Lead, Dakota do Sul. O cloro é microquimicamente percorrido por argônio recentemente produzido. Quanto mais argônio descoberto, maior a quantidade de neutrinos inferidos. Estes experimentos mostraram que o Sol é mais sombrio em neutrinos do que os cálculos previam.

Há um mistério real e não resolvido. O fluxo baixo de neutrino solar provavelmente não coloca nossa visão de nucleossíntese estelar em perigo, mas com certeza significa alguma coisa importante. As explicações propostas variam da hipótese que os neutrinos se fragmentam durante sua passagem

entre o Sol e a Terra até a idéia de que os fogos nucleares no interior solar são temporariamente depositados, a luz solar vem sendo gerada em nossa época em parte pela lenta contração gravitacional. A astronomia do neutrino é muito recente. No momento permanecemos atônitos tendo criado uma ferramenta que pode despontar diretamente no coração em chamas do Sol. À medida que a sensibilidade do telescópio de neutrinos melhora, torna-se possível investigar a fusão nuclear no interior profundo das estrelas próximas.

Mas a fusão do hidrogênio não pode continuar para sempre; no Sol ou em outra estrela, há somente uma determinada quantidade de combustível hidrogênio em seu interior quente. O destino de uma estrela, o final do seu ciclo de vida, depende muito da sua massa inicial. Se, independente da sua massa perdida no espaço, uma estrela retiver duas ou três vezes a massa do Sol, terminará o seu ciclo de vida de um modo completamente diferente do dele. O destino do Sol é espetacular. Quando o hidrogênio central tiver todo reagido para formar o hélio, daqui a cinco ou seis bilhões de anos, a zona da fusão do hidrogênio migrará lentamente para fora, um recipiente em expansão de reações termonucleares, até atingir o local onde as temperaturas são menores do que dez milhões de graus. A fusão do hidrogênio se encerrará. Enquanto isto, a gravidade própria do Sol forçará uma nova concentração do seu núcleo rico em hélio e um aumento posterior em suas temperaturas e pressões interiores. Os núcleos de hélio serão comprimidos ainda mais, tanto que começarão a se unir, os ganchos das suas forças nucleares de pequeno alcance tornando-se entrelaçados a despeito da repulsão elétrica mútua. A cinza se transformará em combustível e o Sol se engajará em um segundo ciclo de reações de fusão.

Este processo gerará os elementos carbono e oxigênio, e providenciará uma energia adicional para que o Sol continue a brilhar por um tempo limitado. Uma estrela é uma fênix, destinada a renascer por um tempo das suas próprias cinzas.* Sob a influência combinada da fusão do hidrogênio em um reservatório delgado distante do interior solar e a alta temperatura da fusão do hélio no centro, o Sol suportará uma mudança maior; seu exterior expandirá e resfriará. Tornar-se-á uma estrela gigante vermelha, sua superfície visível tão distante do seu interior que a gravidade na superfície ficará cada vez mais fraca e sua atmosfera se expandirá no espaço num tipo de rajada estelar. Quando o Sol, rubro e intumescido, se tornar uma gigante vermelha, atingirá e devorará os planetas Mercúrio e Vênus, e provavelmente também a Terra. O sistema solar interior residirá dentro do Sol.

Daqui a bilhões de anos, haverá um último dia perfeito na Terra. Então o Sol lentamente se tornará vermelho e intumes-



As Plêiades na constelação de Touro, observadas pela primeira vez através de um telescópio por Galileo. O espectro da nebulosidade azul é o mesmo das estrelas próximas, revelando ser poeira refletindo a luz das estrelas recentemente formadas. A cerca de 400 anos-luz de distância, as estrelas mais brilhantes receberam dos gregos antigos os nomes das filhas de Atlas, o Titã que sustentava os céus em seus ombros. Cortesia dos Hale Observatories.



A Nebulosa da Roseta se assemelha a uma nebulosa planetária, mas está associada a muitas estrelas quentes e jovens (com menos de um milhão de anos) e não a uma só, enquanto que a estrela central em uma nebulosa planetária é geralmente quente e com bilhões de anos de existência. A pressão de radiação das estrelas centrais está dirigindo o gás vermelho de hidrogênio para o espaço. Cortesia dos Hale Observatories.

* Estrelas mais massivas que o Sol atingem a temperaturas e pressões centrais mais altas em seus estágios evolucionários finais. São também capazes de surgir mais de uma vez de suas cinzas, utilizando carbono e oxigênio como combustível para sintetizar elementos ainda mais pesados.



Nebulosa planetária verdadeira na constelação de Aquário, composta de um tênue revestimento que apresenta um movimento para fora de hidrogênio aquecido. Estas nebulosas possuem, tipicamente, poucos anos-luz de uma extremidade a outra, e se expandem cerca de 50 quilômetros por segundo de uma estrela central que tem uma temperatura de superfície de mais de 100.000 graus. Daqui a cinco bilhões de anos, no final do estágio de gigante vermelha na evolução do nosso Sol, o sistema solar poderá, a distância, se assemelhar a uma delas. Cortesia dos Hale Observatories.



Fotografia de uma pintura em rocha Anasazi, na superfície inferior de uma saliência nos *canyons* do Novo México. Pintada na metade do século XI, provavelmente retrata a supernova de 1054, na sua relação peculiar com a lua em quarto crescente na época da sua descoberta.

cido governando uma Terra sufocante até nos pólos. As calotas polares ártica e antártica se derreterão inundando as costas dos continentes. As altas temperaturas oceânicas liberarão mais vapor d'água no ar, aumentando a nebulosidade, defendendo a Terra da luz solar e retardando um pouco o fim. Mas a evolução solar será inexorável. Eventualmente os oceanos ferverão, a atmosfera evaporará no espaço, e uma catástrofe de proporções imensas e inimagináveis tomará conta do planeta.* Enquanto isto, seres humanos terão quase com certeza evoluído em alguma coisa bem diferente. Talvez nossos descendentes sejam capazes de controlar ou moderar a evolução estelar, ou talvez eles simplesmente sigam para Marte, Europa ou Titã, ou então, como visualizou Robert Goddard, procurem por um planeta não habitado em algum jovem e promissor sistema planetário.

A cinza estelar do Sol pode ser reutilizada como combustível somente até certo ponto. Tempo virá em que o interior solar será só carbono e oxigênio, quando das pressões e temperaturas dominantes não puderem ocorrer mais as reações nucleares. Após o hélio central ter sido quase inteiramente usado, o interior do Sol continuará em seu colapso adiado, as temperaturas subirão outra vez, iniciando a nova rodada de reações nucleares e expandindo um pouco a atmosfera solar. Em seus estertores da morte, o Sol pulsará lentamente, expandindo e contraindo uma vez a cada alguns milênios, eventualmente expelindo sua atmosfera no espaço em um ou mais invólucros concêntricos de gás. O interior solar, quente, exposto inundará o invólucro com luz ultravioleta, induzindo uma fluorescência linda, vermelha e azul, além da órbita de Plutão. Talvez metade da massa do Sol seja perdida deste modo. O sistema solar será então preenchido com uma irradiação sobrenatural, o fantasma do Sol, até o limite externo.

Quando olhamos à nossa volta em nossa pequena esquina da Via-láctea, vemos muitas estrelas circundadas por envoltórios esféricos de gás incandescente, as nebulosas planetárias. (Não têm nada a ver com os planetas, mas algumas delas parecem reminiscências, em telescópios pequenos, dos discos azuis-esverdeados de Urano e Netuno.) Parecem-se com anéis, mas somente porque, como bolhas de sabão, vemos mais delas na periferia do que no centro. Cada nebulosa planetária é um sinal de uma estrela *in extremis*. Próximo à estrela central, poderá haver um séquito de mundos mortos, remanescentes de planetas outrora cheios de vida e agora sem ar e sem oceanos, banhados por uma claridade espectral. Os restos do Sol, o centro solar exposto, a princípio envolto em sua nebulosa planetária, será uma pequena estrela quente, esfriando no espaço, colapsando em uma densidade jamais imaginada na Terra, mais de uma tonelada em uma colher de chá. Daqui a bilhões de anos, o Sol se tornará uma anã branca degenerada, esfriando como todos os pontos de luz que vemos nos centros das nebulosas planetárias com temperaturas de superfície altas até o seu último estágio, uma anã preta, escura e morta.

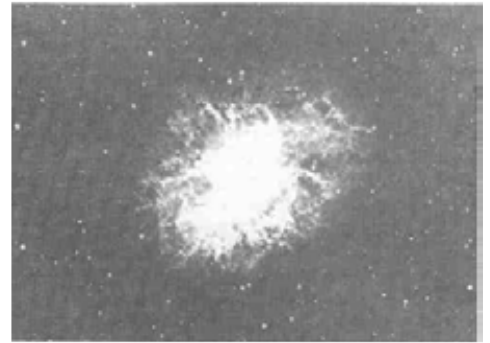
* Os astecas previram um tempo "quando a Terra ficar cansada... quando a semente da Terra tiver terminado". Acreditavam que, neste dia, o Sol cairia do céu e as estrelas seriam retiradas dos céus.

Duas estrelas com massa semelhante evoluirão quase que em paralelo, mas uma estrela mais massiva gastará seu combustível nuclear mais rápido, tornar-se-á uma gigante vermelha mais cedo e entrará primeiro no declínio final, em anã branca. Deve haver, como há, muitos casos de estrelas binárias, um componente, uma gigante vermelha; a outra, uma anã branca. Alguns desses pares estão tão próximos que se tocam, e a atmosfera estelar brilhante flui da gigante vermelha distendida para a anã branca compacta, tendendo a cair em um local particular da superfície da anã branca. O hidrogênio se acumula, comprimido com as altas pressões e temperaturas causadas pela intensa gravidade da anã branca, até que a atmosfera roubada da gigante vermelha sofra alterações termonucleares, e a anã branca acende brevemente. Este binário é chamado de nova, possuindo uma origem bem diferente das supernovas. As novas ocorrem somente em sistemas binários e são potencializadas pela fusão do hidrogênio; as supernovas ocorrem em estrelas únicas e são potencializadas pela fusão do silício.*

Os átomos sintetizados nos interiores das estrelas são comumente devolvidos ao gás interestelar. As atmosferas das gigantes vermelhas escapam para o espaço; as nebulosas planetárias são o estágio final das estrelas como o Sol, dissipando suas partes mais externas. As supernovas ejetam violentamente muito da sua massa estelar no espaço. Os átomos que retornam são naturalmente os formados de modo mais rápido nas reações termonucleares nos interiores estelares: o hidrogênio se transforma em hélio, este em carbono, o carbono em oxigênio, e assim por diante em estrelas massivas, por adição sucessiva de futuros núcleos de hélio, neônio, magnésio, silício, enxofre, e são formados — adições por estágios, dois prótons e dois nêutrons por estágio, todos a caminho do ferro. A fusão direta do silício também gera o ferro, um par de átomos de silício, cada um com vinte e oito prótons e nêutrons unindo-se em uma temperatura de bilhões de graus, para formar um átomo de ferro com cinquenta e seis prótons e nêutrons.

São todos elementos químicos familiares. Reconhecemos seus nomes. Estas reações nucleares estelares não geram prontamente o érbio, o háfnio, o diprósio, o praseodímio ou o ítrio, mas sim os elementos que conhecemos na vida diária, elementos que retornam ao gás interestelar onde são dragados em uma geração subsequente de colapso da nebulosa e formação da estrela e de planetas. Todos os elementos da Terra, exceto o hidrogênio e algum hélio foram cozinhados em um tipo de alquimia estelar há bilhões de anos nas estrelas, algumas das quais são hoje anãs brancas inconspícuas no outro lado da Via-láctea. O hidrogênio em nosso ADN, o cálcio em nossos dentes, o ferro em nosso sangue, o carbono em nossas tortas de maçã foram feitos nos interiores de estrelas em colapso. Somos feitos de material estelar.

Alguns dos elementos raros são gerados na própria explosão em supernova. Temos o ouro e o urânio em relativa abundância na Terra somente porque ocorreram muitas explosões em supernova, um pouco antes do sistema solar se formar. Outros

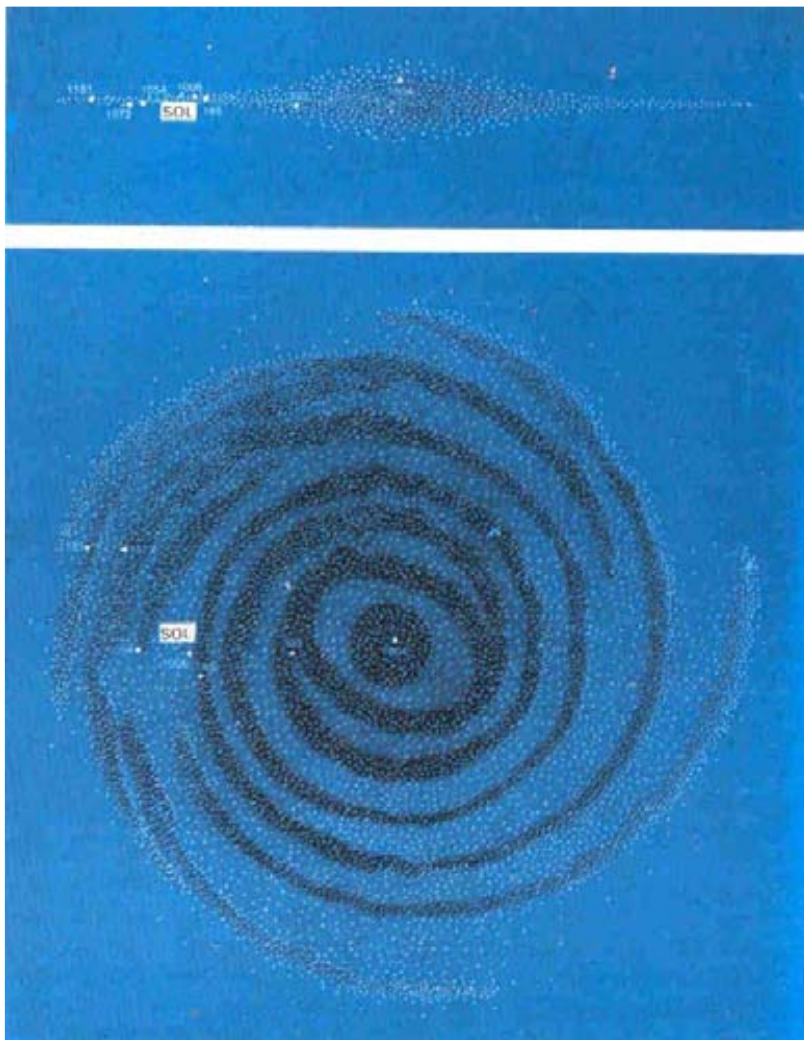


Nebulosa do Caranguejo, em Touro, há 6000 anos-luz de distância, é o remanescente de uma explosão em supernova testemunhada no ano de 1054 na Terra. Seus filamentos estão se desenredando em cerca de 1100 quilômetros por segundo. Após quase um milênio de expansão, ainda está liberando perto de 100.000 vezes mais energia no espaço a cada segundo do que o Sol. No seu núcleo está uma estrela de nêutrons condensada, um pulsar, reluzindo cerca de 30 vezes por segundo. O período é conhecido com extrema precisão. Em 28 de junho de 1969, o período era de 0,033099324 segundos e diminuindo em um ritmo de cerca de 0,0012 segundos por século. A perda correspondente de energia rotacional é suficiente para justificar o brilho da Nebulosa. A Caranguejo é rica em elementos pesados, retornando ao espaço interestelar para gerações futuras de formação de estrelas. Cortesia dos Hale Observatories.



Nebulosa do Véu, parte de um antigo remanescente esférico de uma supernova chamada Alça do Cisne. A explosão em supernova que a formou ocorreu há cerca de 50.000 anos. Ainda está se expandindo em cerca de 100 quilômetros por segundo, e resplandece como consequência de colisões com gás e poeira interestelar. Os átomos do Véu diminuem de velocidade pelas colisões e, por fim, se tornam parte do meio interestelar. Cortesia dos Hale Observatories.

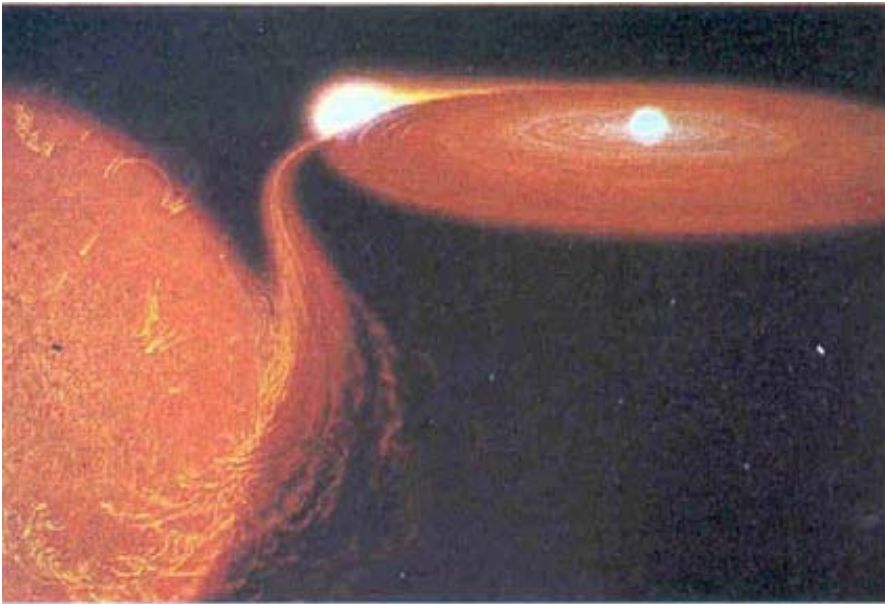
Via-láctea vista de perfil e inteira, com a posição do Sol e das supernovas históricas indicadas. As estrelas massivas tendem a se posicionar no plano da galáxia e, por isso, seus produtos finais, as supernovas, também se apresentam nesta mesma posição. A poeira que obscurece também se concentra no plano galáctico, e as supernovas se tornam visíveis somente quando relativamente próximas; nenhuma explosão deste tipo jamais foi registrada no outro lado da Galáxia, embora indubitavelmente ocorram. As explosões que originaram a Nebulosa do Caranguejo e a supernova de Tycho de 1572 ocorreram ambas nos braços espirais galácticos exteriores em relação à posição do Sol. A supernova de Kepler de 1604 ocorreu próxima ao centro de Galáxia, mas foi visível da Terra porque se situava acima do plano galáctico e relativamente livre da poeira obliterante. O diâmetro da Galáxia é de cerca de 100.000 anos-luz. Cortesia do *Scientific American*, De *Historical Supernovas*, de Richard Stephenson e David H. Clark. Copyright © 1976 by Scientific American, Inc. Todos os direitos reservados.



A Grande Nuvem de Magalhães, uma pequena e irregular galáxia satélite da Via-láctea. Como em todas as galáxias, lá acontecem explosões em supernova. Uma explosão sem precedentes de raios X e raios gama foi detectada em uma pequena região do céu correspondente aos remanescentes da supernova N49 na Grande Nuvem de Magalhães em 5 de março de 1979 — por coincidência, a data em que a Voyager 1 atingiu o sistema de Júpiter. Cortesia do Yerkes Observatory, University of Chicago.

sistemas planetários podem possuir quantidades um tanto diferentes de nossos elementos raros. Haverá planetas onde os habitantes orgulhosamente exibirão berloques de nióbio e braceletes de protactínio, enquanto o ouro será uma curiosidade de laboratório? Será que nossas vidas melhorariam se o ouro e o urânio fossem obscuros e sem importância na Terra como o praseodímio?

A origem e a evolução da vida estão ligadas de modo muito mo com a origem e a evolução das estrelas. Primeiro: a principal matéria de que somos compostos, os átomos que fazem a vida possível, foram gerados há muito tempo e a uma grande distância nas gigantes vermelhas. A abundância relativa dos elementos químicos descobertos no Cosmos se iguala com a abundância relativa dos átomos gerados em estrelas de modo a deixar pouca dúvida de que as gigantes vermelhas e as supernovas são o forno e o cadinho nos quais a matéria foi forjada. O Sol é uma estrela de segunda ou terceira geração. Toda a matéria nele e à sua volta foi formada em um ou dois ciclos de alquimia estelar. Segundo: a existência de certas variedades de átomos pesados na Terra sugere que houve uma explosão em supernova próxima pouco antes do sistema solar ser formado. É improvável ser uma mera coincidência, mas sim uma onda de



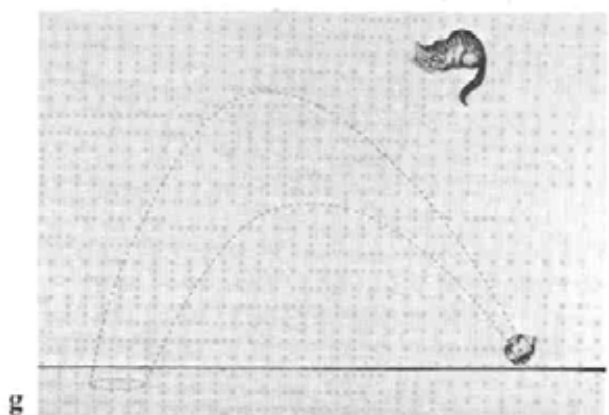
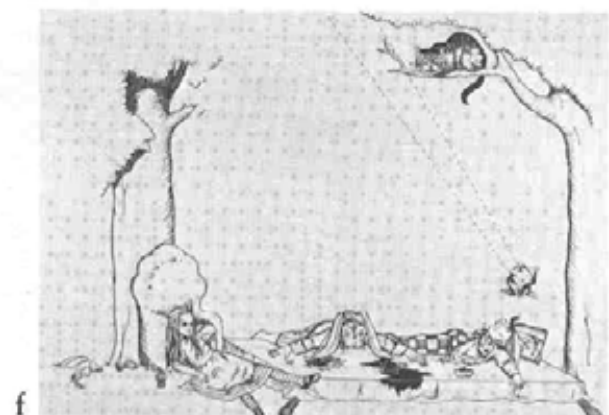
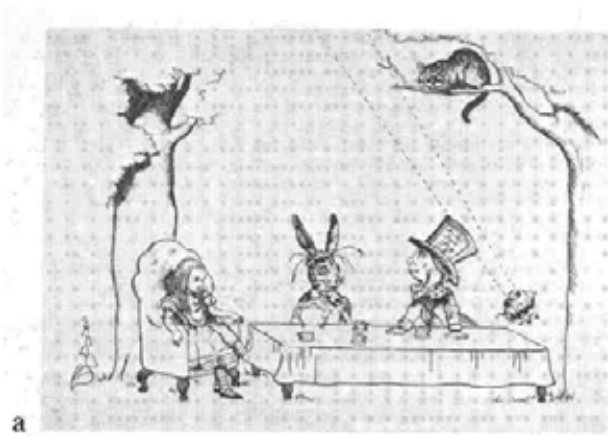
Últimos estágios da evolução estelar. Em um binário cerrado, a atmosfera luminosa estelar flui de uma estrela gigante vermelha (à esquerda) para o disco de acrecimento à volta da estrela de nêutron pulsar (à direita). O disco cintila em raio X e outra radiação no ponto do contato. Criação de Don Davis.

choque produzida pelo gás e poeira interestelares comprimidos e iniciando a condensação do sistema solar. Terceiro: quando o Sol se estabilizou, sua radiação ultravioleta penetrou na atmosfera da Terra, e seu aquecimento gerou raios. Estas fontes de energia lançaram as moléculas orgânicas complexas que levaram à origem da vida. Quarto: a vida na Terra ocorre quase que exclusivamente à luz solar. Os vegetais reúnem os fótons e convertem a energia solar em química. Os animais parasitam as plantas. A agricultura é simplesmente a colheita metódica da luz solar, utilizando as plantas como intermediários forçados. Nós somos, quase todos, movidos a energia solar. Finalmente, as alterações hereditárias chamadas mutações providenciam a matéria-prima para a evolução. As mutações, através das quais a natureza seleciona seu novo inventário de formas de vida, são produzidas, em parte, pelos raios cósmicos, partículas de alta energia ejetadas quase na velocidade da luz nas explosões em supernova. A evolução da vida na Terra é dirigida em parte pelas mortes espetaculares de sóis distantes e massivos.

Imaginemos que estamos carregando um contador Geiger e um pedaço de minério de urânio para algum local profundo debaixo da Terra, uma mina de ouro, por exemplo, ou um tubo de lava, uma caverna cavada por um rio de rocha derretida. O contador sensível produz um som quando exposto a raios gama ou a partículas carregadas de alta energia como prótons e núcleos de hélio. Se o colocarmos próximo ao minério de urânio, que está emitindo núcleos de hélio em uma deterioração nuclear espontânea, o ritmo da contagem, o número de sinais por minuto, aumenta drasticamente. Se deixarmos cair o minério de urânio em uma caixa de chumbo pesado, o ritmo da contagem declina substancialmente: o chumbo absorveu a radiação do urânio; mas alguns sinais ainda podem ser ouvidos. Da contagem remanescente, uma fração provém da radioatividade natural nas paredes da caverna. Mas há sinais que podem ser justificados pela radioatividade. Alguns deles são causados pelas partículas carregadas de alta energia que penetram pelo telhado. Estamos ouvindo os raios cósmicos, produzidos em outra época nas profundezas do espaço. Os raios cósmicos, principalmente prótons



A morte do sistema solar. Visões esquemáticas da perda de atmosferas planetárias e a vaporização dos mundos quando o sol local se transformar em supernova. As ondas de choque que vemos se propagam além do sistema local, comprimem o gás e poeira interestelares, induzindo à formação de novos sistemas planetários. Criações de Adolf Schaller, Rick Sternbach e John Allison.



A influência da gravidade na matéria e na luz. Alice, a Lebre Maluca, o Chapeleiro Louco e o Gato Listrado da história de Lewis Carroll, *Alice no País das Maravilhas*, desfrutam um chá sob a gravidade comum da Terra (a) de 1 g. O raio de luz de uma lanterna à direita não é desviado pela gravidade. Quando aproximamos 0 g, o menor movimento faz nossos amigos darem piruetas no espaço (b,c); o chá adquire a forma de gotas esféricas. Quando retornamos a 1 g, Alice e seus companheiros são trazidos de volta à Terra (d) antes da qual chovia chá. A vários "g", eles são incapazes até de se moverem (e,f), mas o raio de luz permanece inalterado. Quando atingimos 100.000 g, todo o panorama é esmagado. A um bilhão de g, a gravidade inclina perceptivelmente a luz, e a bilhões de g, a luz volta ao solo. Neste ponto, a intensa gravidade converteu o País das Maravilhas em um buraco negro. Desenhos, com características de Tenniel, de Brown.

e elétrons, bombardearam a Terra durante a história toda da vida em nosso planeta. Uma estrela se destrói a milhares de anos-luz de distância e produz raios cósmicos que percorrem a Via-láctea por milhões de anos até que, quase por acidente, alguns deles se chocam com a Terra e com nosso material hereditário. Talvez alguns passos-chave no desenvolvimento do nosso código genético, ou a explosão cambriana, ou a posição bípede entre os nossos ancestrais tenham-se iniciado através dos raios cósmicos.

A 4 de julho do ano de 1054, os astrônomos chineses registraram o que chamaram de "estrela convidada" na constelação de Touro. Uma estrela nunca vista anteriormente se tornou mais brilhante do que qualquer estrela no céu. Na outra metade do mundo, no Sudoeste americano, havia então uma grande civilização, rica em tradição astronômica que também testemunhou esta nova estrela brilhante.* Pelos ciados obtidos com o carbono 14 de restos de lenha, sabemos que na metade do século XI, alguns Anasazi, os antecessores dos atuais Hopi, viviam no local que hoje é o Novo México. Um deles parece ter desenhado na saliência de um rochedo, protegido do tempo, uma pintura de uma nova estrela. Sua posição em relação à lua crescente foi exatamente a descrita. Há também a impressão de uma das mãos, talvez a assinatura do artista.

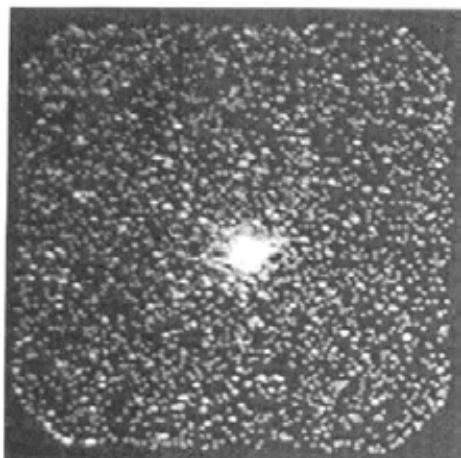
Esta estrela extraordinária, a 5.000 anos-luz de distância, é agora chamada de Supernova do Caranguejo, porque um astrônomo séculos atrás lembrou-se, inexplicavelmente, de um caranguejo quando olhou pelo telescópio para os remanescentes da explosão. A Nebulosa do Caranguejo é o remanescente de uma estrela massiva que explodiu. A explosão foi vista na Terra a olho nu por três meses. Em média, há uma supernova em uma galáxia a cada século. Durante o tempo de vida de uma galáxia típica, cerca de dez bilhões de anos, cem milhões de estrelas explodem, uma em cada mil. Na Via-láctea, após o evento de 1054, houve uma supernova observada em 1572 e descrita por Tycho Brahe, e outra logo após, em 1604 descrita por Johannes Kepler.** Infelizmente, não foi observada nenhuma explosão em supernova em nossa galáxia desde a invenção do telescópio, e os astrônomos anseiam pelo evento há séculos.

As supernovas são agora rotineiramente observadas em outras galáxias. Entre as minhas candidatas a esta classificação que assombrou um astrônomo no início do século XX está o extrato, de um *paper* de David Helfand e Knox Long, de 6 de dezembro

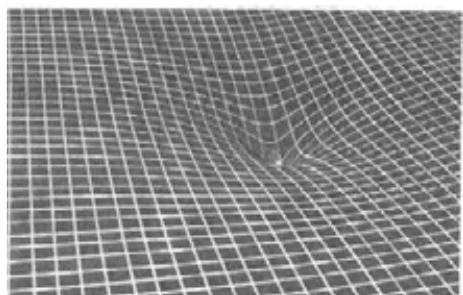


Mostrador de uma máquina de gravidade mágica, por meio da qual poderíamos especificar a aceleração local da gravidade. O valor padrão para a superfície da Terra é 1 g. No final do mostrador, começamos a nos aproximar das forças gravitacionais que formam as estrelas de nêutrons e os buracos negros.

**Kepler publicou em 1606 um livro chamado *De Stella Nova*, "Sobre a Estrela Nova", no qual perguntava-se se uma supernova é o resultado de alguma concatenação fortuita de átomos nos céus. Ele apresenta o que diz ser "não na minha opinião, mas na de minha esposa: ontem quando me cansava escrevendo, fui chamado para tomar uma sopa e comer uma salada, e perguntei o que havia diante de mim. "Parece como", eu disse, "se pratos de estanho, folhas de alface, grãos de sal, gotas d'água, vinagre e óleo e pedaços de ovos estivessem voando no ar por toda a eternidade, e por acaso se juntassem e formassem uma salada". "Sim", respondeu minha adorada esposa, "mas não tão bonita como a minha".



Fotografia do céu em raio X, mostrando a fonte brilhante do Cisne X-1 (*centro*), um provável buraco negro. Imagem do High Energy Astrophysical Observatory 2, em órbita da Terra. Cortesia de Ricardo Giacconi e da NASA.



Representação esquemática da distorção do espaço plano por um objeto massivo, útil nas observações a respeito da gravidade e dos buracos negros.

de 1979, publicado na revista britânica *Nature*: "A 5 de março de 1979, registrou-se uma explosão, extremamente intensa de raios X e gama duros, por nove espaçonaves interplanetárias da rede de sensores de explosão e localizada pelas coordenadas de tempo de voo em uma posição coincidente com o remanescente de supernova N49, na Grande Nuvem de Magalhães". (A Grande Nuvem de Magalhães recebeu este nome em homenagem ao primeiro habitante do Hemisfério Norte a notá-la, uma pequena galáxia-satélite da Via-láctea, a 180.000 anos-luz de distância. Há também, como é de se esperar, a Pequena Nuvem de Magalhães.) Contudo, na mesma edição do *Nature*, E. P. Mazets e seus colegas do Instituto Ioffe, Leningrado, que observaram esta fonte com o detector de explosão de raio gama a bordo das espaçonaves Venera 11 e 12 em sua viagem para descer em Vênus, argumentaram que o que estava sendo visto era um pulsar cintilando somente a poucas centenas de anos-luz. A despeito do acordo quanto à posição, Helfand e Long não insistem que a explosão de raios gama esteja associada à remanescente de supernova. Cautelosamente eles consideram muitas alternativas, incluindo a surpreendente possibilidade de que a fonte esteja dentro do sistema solar. Talvez fosse a emissão de uma nave estelar alienígena em sua longa volta ao lar. Mas o despertar de fogos estelares na N49 é uma hipótese mais simples: estamos certos de que existem coisas como as supernovas.

O destino do sistema solar interior, quando o Sol se tornar uma gigante vermelha é cruel, mas pelo menos os planetas nunca serão derretidos ou crestados por uma supernova em erupção. Este é o destino reservado aos planetas próximos a estrelas mais massivas que o Sol. Uma vez que estas estrelas, com pressão e temperatura altas, esgotam seus estoques de combustível, seus tempos de vida são mais curtos que o do Sol. mas estrela, dez vezes mais massiva que o Sol, consegue converter com estabilidade o hidrogênio em hélio somente por poucos milhões de anos, antes de entrar em reações nucleares mais complexas. Deste modo, quase que certamente não haverá tempo suficiente para a evolução de formas de vida mais avançadas nos planetas que a acompanham, sendo muito difícil que os seres de lá saibam que a sua estrela se tornará uma supernova. Se viverem o suficiente para compreender uma supernova, será improvável que a sua estrela se torne uma.

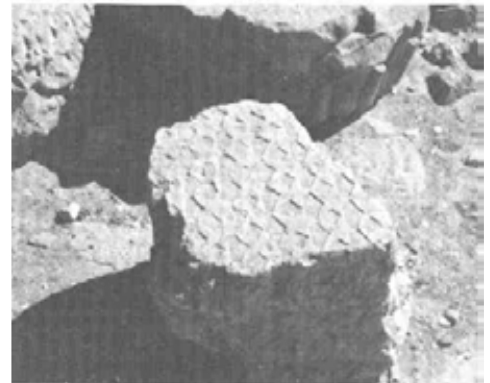
O preparativo essencial para uma explosão em supernova é a geração pela fusão do silício de um núcleo de ferro maciço. Sob pressões enormes, os elétrons livres no interior estelar são forçosamente derretidos junto com os prótons dos núcleos de ferro, as cargas elétricas iguais e opostas anulando uma às outras. O interior de uma estrela se torna um único núcleo atômico gigante, ocupando um volume muito menor do que os elétrons precursores e os núcleos de ferro. O centro implode violentamente, repercute no exterior, resultando na explosão em supernova. Esta pode ser mais brilhante do que a radiação combinada de todas as outras estrelas na galáxia a qual pertence. Todas as estrelas supergigantes azuis-esbranquiçadas massivas, recentemente incubadas em Órion, estão destinadas nos próximos milhões de anos a se tornarem supernovas, fogos de

artifício cósmicos contínuos na constelação do Caçador.

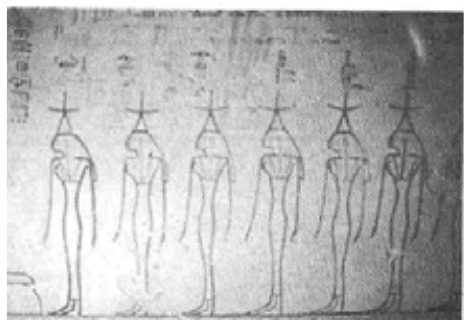
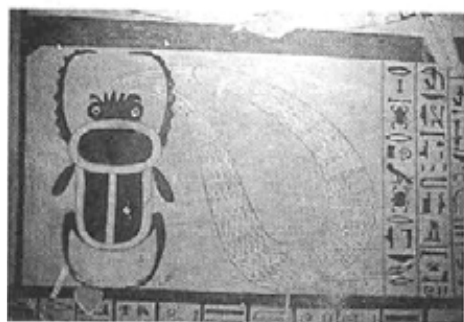
Uma explosão tremenda em supernova ejeta no espaço grande parte da matéria da estrela precursora — um pouco de hidrogênio e hélio residuais, e quantidades significativas de outros átomos, carbono e silício, ferro e urânio. O que permanece é um centro de nêutrons aquecidos reunidos pelas forças nucleares, um único núcleo atômico massivo, com um peso atômico de 10^{56} , um sol com trinta quilômetros de diâmetro; um fragmento estelar diminuto, enrugado, denso e encarquilhado, uma estrela de nêutrons girando rapidamente. À medida que o centro da gigante vermelha massiva entra em colapso para formar uma estrela de nêutrons, ela gira mais rápido. A estrela de nêutrons, no centro da Nebulosa do Caranguejo, possui um núcleo atômico imenso, do tamanho de Manhattan, girando trinta vezes por segundo. Seu poderoso campo magnético, ampliado durante o colapso, atrai partículas carregadas, tanto quanto o campo magnético muito menor de Júpiter. Os elétrons no campo giratório emitem radiação não somente na frequência do rádio, mas também em luz visível. Se acontecesse da Terra estar no raio desta casa de luz cósmica, veríamos um clarão a cada rotação. Esta é a razão de ser chamada de pulsar. Piscando como um metrônomo cósmico, os pulsares marcam o tempo com mais precisão do que o relógio mais exato. A acomodação, a longo prazo, do ritmo do pulso de rádio de alguns pulsares, por exemplo um conhecido por PSR 0329+54, sugere que estes objetos devam ter um ou mais companheiros planetários pequenos. Talvez seja concebível que um planeta possa sobreviver à evolução de uma estrela em pulsar, ou que possa ser capturado depois. Pergunto-me que aparência teria o céu visto da superfície de um desses planetas.

A matéria da estrela de nêutrons pesa quase uma montanha por colher de chá, tanto que se você tivesse um pedaço dela e a deixasse ir (dificilmente conseguiria mantê-lo), ele passaria sem esforço pela Terra como uma pedra o faz no ar, cavando um buraco através do nosso planeta, emergindo do outro lado, talvez na China. As pessoas estariam distraídas, cuidando de seus afazeres, quando um pedaço de estrela de nêutrons sairia do chão como uma sonda, pairaria no ar por um momento e retornaria para o fundo da Terra, quebrando a rotina do dia. Se um pedaço de matéria de estrela de nêutrons caísse do espaço próximo, com a Terra girando, ele mergulharia nela repetidas vezes perfurando centenas de milhares de buracos, até que a fricção com o interior do planeta impedisse o movimento. Antes de repousar no centro da Terra, o interior do nosso planeta ficaria parecido com um queijo suíço, até que o fluxo subterrâneo de rocha e metal cicatrizasse as feridas. Não se sabe de porções grandes de matéria de estrela de nêutrons na Terra, mas as pequenas estão em vários locais. O poder assustador da estrela de nêutrons está oculto no núcleo de cada átomo, escondido em cada colher e arganaz, cada respiração, cada torta de maçã. A estrela de nêutrons nos ensina a respeitar as coisas comuns, do dia-a-dia.

Uma estrela como o Sol terminará os seus dias, como vimos, como uma gigante vermelha e depois como uma anã



Baixo-relevo de estrelas de cinco pontas encontradas em ruínas de templos faraônicos em Dendera, Egito. Foto de Ann Druyan.



Motivos do Sol e das estrelas nas tumbas reais do Vale dos Reis, na margem oeste do Nilo, próximo a Luxor, Egito. *Ao alto*: Os raios do Sol atravessam o espaço caindo sobre o que parece ser uma representação de uma Terra esférica. *No centro*: O escaravelho ou besouro, cujo ciclo de vida representava para os antigos egípcios uma metáfora dos processos cíclicos em natureza é, particularmente, o retorno diário do Sol. *Embaixo*: Os deuses das estrelas, em algumas tumbas, dispostos às centenas. Fotografias do autor.

branca. Uma estrela em colapso, com duas vezes a massa do Sol, tornar-se-á uma supernova e depois uma estrela de nêutrons. Uma outra mais massiva, digamos com cinco vezes a massa do Sol, após a sua fase de supernova, terá um destino ainda mais espetacular, sua gravidade a transformará em um buraco negro. Suponhamos uma máquina mágica que pudesse controlar a gravidade da Terra, girando um botão. Inicialmente o mostrador está em 1 g,* e tudo se comporta como estamos acostumados a ver. Animais e plantas na Terra e as estruturas de nossas construções são desenvolvidas ou projetadas para 1 g. Se a gravidade for bem menor, eles crescerão, formas compridas que não tropeçarão ou serão esmagadas pelo seu próprio peso. Se a gravidade for muito maior, plantas, animais e a arquitetura serão pequenos, atarracados e fortes para não colapsar. Mesmo em um campo gravitacional muito mais poderoso, a luz viajaria em linha reta, como o faz naturalmente na vida diária.

Consideremos (pág. 236) um grupo de seres terrestres típicos. À medida que diminuimos a gravidade, as coisas pesam menos. Próximo a 0 g, o menor movimento leva nossos amigos a flutuar e a dar cambalhotas no ar. O chá derramado, ou qualquer outro líquido, forma globos esféricos pulsantes no ar; a tensão de superfície do líquido subjuga a gravidade. Bolas de chá estão em toda parte. Se girarmos o mostrador novamente para 1 g, teremos uma chuva de chá. Se aumentarmos um pouco a gravidade, de 1 g para 3 ou 4 g, tudo ficará imobilizado, até mesmo arrancar o chão requererá um grande esforço. Por um gesto de bondade, liberaremos nossos amigos do domínio da máquina de gravidade antes de girarmos o mostrador ainda mais. O fecho de uma lanterna é uma linha perfeitamente reta (até onde podemos ver) com poucos g, como também a 0 g. A 100 g o fecho ainda é reto, mas as árvores são espremidas e achatadas; a 100.000 g as rochas se esmagam pelo próprio peso. Eventualmente, nada sobrevive, exceto, por uma dispensa especial, o gato listrado. Quando a gravidade se aproxima de 1 bilhão g, acontecerá algo ainda mais estranho. O fecho de luz, que até então apontava diretamente para o céu, começa a inclinar. Sob acelerações gravitacionais extremamente fortes até a luz é afetada. Se aumentarmos ainda mais a gravidade, a luz é empurrada de volta para o chão. O gato listrado cósmico desapareceu, permanecendo somente seu riso sardônico.

Quando a gravidade é muito alta, nada, nem mesmo a luz, pode emergir. Este local é chamado buraco negro. Enigmática-

* 1 g é a aceleração experimentada pelos objetos que caem na Terra, quase 10 metros por segundo, a cada segundo. Uma pedra caindo atingirá a velocidade de 10 metros por segundo após um segundo de queda, 20 metros após dois segundos, e assim até atingir o solo ou ser retardada pela fricção com o ar. Em um mundo onde a aceleração gravitacional é muito maior, os corpos que caem aumentarão sua velocidade de acordo com quantidades maiores. Em um mundo com 10 g de aceleração, uma rocha viajaria a 10 x 10 m/s, ou quase 100 m/s após o primeiro segundo, 200 m/s após o próximo segundo, e assim por diante. Um pequeno tropeção poderia ser fatal. A aceleração decorrente da gravidade deve ser abreviada com g, para diferenciá-la da constante gravitacional newtoniana G, que é a medida da força da gravidade em todos os locais do universo, e não meramente no mundo ou sol a que estamos nos referindo. (A relação newtoniana de duas quantidades é $F = mg = GMm/r^2$; $g = GM/r^2$, onde F é força gravitacional, M, massa do planeta ou estrela, m massa do objeto que cai e r distância do objeto que cai ao centro do planeta ou estrela.)

mente indiferente às suas vizinhanças, é um tipo de gato listrado cósmico. Quando a densidade e a gravidade se tornam suficientemente altas, o buraco negro vacila e desaparece do nosso universo. Por isto é chamado de buraco negro — nenhuma luz consegue escapar dele. A luz é aprisionada nele e tudo que brilha é apanhado. Mesmo sendo invisível em seu lado exterior, sua presença gravitacional é palpável. Se em uma viagem interestelar não houver atenção, poderemos nos descobrir apanhados irrevogavelmente, nossos corpos estirados em uma linha longa e fina. A matéria adicionada em um disco em torno do buraco negro poderá ser uma lembrança merecedora de crédito, no caso improvável de sobrevivermos à viagem.

As reações termonucleares no interior solar sustentam as camadas exteriores do Sol e adiam por bilhões de anos o colapso gravitacional catastrófico. Nas anãs brancas a pressão dos elétrons, retirada de seu núcleo, mantém a estrela. Nas estrelas de nêutrons, a pressão repele a gravidade. Para uma estrela mais antiga remanescente de explosões em supernova e de outras impetuosidades com muitas vezes a massa do Sol, não há forças conhecidas que possam evitar o colapso. A estrela encolhe incrivelmente, gira, se torna vermelha e desaparece. Uma estrela, com vinte vezes a massa do Sol, encolherá até o tamanho da Grande Los Angeles; a gravidade esmagadora se torna 10^{10} g, e a estrela resvala por uma fenda autogerada no espaço-tempo contínuo e desaparece do nosso universo.

Os buracos negros foram imaginados pela primeira vez por um astrônomo inglês, John Michell, em 1783. A idéia era tão bizarra que foi ignorada até recentemente. Então, para a surpresa de muitos, incluindo vários astrônomos, as evidências foram realmente encontradas quanto à existência de buracos negros no espaço. A atmosfera da Terra é opaca ao raio X. Para determinar se objetos astronômicos emitem este tipo de pequeno comprimento de onda de luz, teremos que colocar um telescópio acima da atmosfera. O primeiro observatório de raio X foi um admirável esforço internacional, colocado em órbita pelos Estados Unidos, de uma plataforma de lançamento italiana, no Oceano Índico na direção da costa do Kenya, e recebeu o nome de Uhuru, palavra swahili que significa “liberdade”. Em 1971, o Uhuru descobriu uma fonte admiravelmente brilhante de raio X na constelação do Cygnus, o cisne, piscando mil vezes por segundo. A fonte, chamada Cygnus X-1 deve ser, portanto, muito pequena. Qualquer que seja a razão da piscadela, a informação de quando acender e quando apagar não pode atravessar o Cyg X-1 com mais rapidez do que a luz, 300.000 km/s. Deste modo o Cyg X-1 não pode ser maior do que $[300.000 \text{ km/s}] \times [(1/1.000)\text{s}] = 300$ quilômetros de diâmetro. Algo como o tamanho de um asteroide é uma fonte de raio X brilhante e que pisca, visível nas distâncias interestelares. O que será? O Cyg X-1 está precisamente no mesmo local no céu de uma estrela azul e quente supergigante, que revela em luz visível ter uma companheira próxima e massiva, mas invisível, que primeiro a puxa gravitacionalmente em uma direção e depois em outra. A massa da companheira é cerca de dez vezes a do Sol. A supergigante é uma fonte improvável de raios X e está se tentando identificar a compa-

nheira, inferida na luz visível, com a fonte detectada de raios X. Um objeto invisível pesando dez vezes mais que o Sol e colapsado em um volume do tamanho de um asteroide só pode ser um buraco negro. Os raios X são plausivelmente gerados por fricção no disco de gás e poeira adicionado em torno do Cyg X-1, vindos da sua companheira supergigante. Outras estrelas chamadas V861 Scorpii, GX339-4, SS443 e Circinus X-2 são também candidatas a buraco negro. Cassiopéia A é o remanescente de uma supernova cuja luz deve ter chegado à Terra no século XVII, quando havia poucos astrônomos. Ninguém registrou a explosão. Talvez, como sugere I. S. Shklovskii, haja um buraco negro no local, que assimilou o centro estelar que explodiu e desativou o fogo da supernova. Os telescópios no espaço são um meio de verificar estes pedaços e fragmentos dos dados que podem ser as pegadas ou pistas do legendário buraco negro.

Uma boa maneira para se entender os buracos negros é pensar sobre a curvatura do espaço. Consideremos uma superfície plana, flexível, bidimensional, como um pedaço de papel quadriculado feito de borracha. Se deixarmos cair uma pequena massa, a superfície ficará deformada ou pregueada. Uma bola de gude rola em torno da prega em uma órbita semelhante à de um planeta em torno do Sol. Nesta interpretação que devemos a Einstein, a gravidade é uma distorção na estrutura do espaço. Em nosso exemplo vemos um espaço bidimensional dobrado por uma massa em uma terceira dimensão física. Imaginemos que vivemos em um universo tridimensional, distorcido localmente pela matéria em uma quarta dimensão física, que não podemos perceber diretamente. Quanto maior a massa local, mais intensa a gravidade local e maior a prega, distorção ou depósito do espaço. Nesta analogia, um buraco negro é um tipo de buraco sem fundo. O que aconteceria se caíssemos nele? Visto de fora, levaríamos uma infinidade de tempo cair, porque todos os seus relógios, o mecânico e o biológico, parariam. Mas no nosso ponto de vista, todos os relógios continuariam a trabalhar normalmente. Se conseguíssemos sobreviver às marés gravitacionais e ao fluxo de radiação, e (uma suposição provável), se o buraco negro estivesse girando, é possível que emergíssemos em outro local de tempo e espaço, em algum outro local do espaço, em outro momento no tempo. Estes buracos no espaço, que lembram os caminhos de minhocas na terra foram sugeridos com seriedade, embora não haja meios de provar a sua existência. Será que os túneis de gravidade são um tipo de caminho subterrâneo interestelar ou intergaláctico, que nos permitirá viajar a locais inacessíveis com muito maior rapidez do que conseguiríamos pelos meios normais? Servirão os buracos negros como túneis do tempo, transportando-nos ao passado remoto ou ao futuro distante? O fato destas idéias estarem sendo discutidas, de uma maneira mais ou menos séria, nos mostra como o universo pode ser surrealista.

Somos, no sentido mais profundo, crianças do Cosmos. Pensemos no calor do Sol em nossa face voltada para ele em um dia de verão sem núvens e consideremos o perigo de olhar fixa



A Via-Láctea, nascendo sobre um oceano de um outro mundo, bem acima do plano-galáctico. Criação de Adolf Schaller.

diretamente para ele. A 150 milhões de quilômetros reconhecemos o seu poder. O que sentiríamos em sua superfície fervente e luminosa, ou se imergíssemos em seu coração de fogo nuclear? O Sol nos aquece e nos alimenta, e nos permite ver. Ele fecunda a Terra. Seu poder transcente a experiência humana. Os pássaros saúdam o nascer do Sol com um êxtase audível. Mesmo os organismos unicelulares sabem nadar em direção à luz. Nossos ancestrais o idolatravam* e não eram tolos, embora o Sol seja uma estrela comum, até medíocre. Se tivéssemos que adorar um poder acima de nós, não faria sentido reverenciar o Sol e as estrelas? Escondido e não se revelando às investigações astronômicas, algumas vezes tão profundamente enterrado que o próprio desconhece sua presença, repousa uma semente de temor.

A galáxia é um continente inexplorado, cheio de inexistências exóticas de dimensões estelares. Fizemos um reconhecimento preliminar e encontramos alguns dos habitantes. Alguns deles lembram entidades que conhecemos. Outros são bizarros além de nossas fantasias espontâneas. Estamos no início da nossa exploração. As viagens anteriores de exploração sugerem que muitos habitantes mais interessantes do continente galáctico permanecem desconhecidos e imprevisíveis. Não muito longe da Galáxia há, quase com certeza, planetas em órbita de estrela nas Nuvens de Magalhães e nos aglomerados globulares que circundam a Via-Láctea. Estas idéias oferecem uma visão sensacional do levante da Galáxia, uma forma enorme em espiral, compreendendo 400 bilhões de habitantes estelares com nuvens de gás colapsando, sistemas planetários em condensação, supergigantes luminosas, estrelas de meia-idade estáveis, gigantes vermelhas, anãs brancas, nebulosas planetárias, novas, supernovas, estrelas de nêutrons e buracos negros. Dia virá em que tudo se esclarecerá sobre este mundo, como está acontecendo com o nosso agora, de como a nossa matéria, nossa forma e muito do nosso caráter são determinados pela profunda conexão entre a vida e o Cosmos.

* As primeiras pictografias sumerianas de Deus eram um asterisco, o símbolo das estrelas. A palavra asteca para Deus era Teotl, e glifo era uma representação do Sol. Os céus eram chamados de Teoatl, o deus-mar, o oceano cósmico.



A Dança da Criação. Em sua manifestação como Senhor da Dança, o deus hindu Shiva executa os passos da dança da Criação. Neste bronze Chola, do século X, a auréola de fogo de Shiva (a *prabhamandala*) representa o ritmo do universo e emana de um pedestal de lótus, o símbolo hindu da iluminação. Shiva dança sobre uma forma prostrada do Apasma-rapurusa, o símbolo da ignorância humana. A mão traseira direita leva o *damaru*, pequeno tambor simbolizando a criação. A mão traseira esquerda segura o *agni*, o fogo da destruição. A mão dianteira esquerda está na posição *gajahasta* ("tronco do elefante"). A mão dianteira direita é mantida na posição *abhaya-mundra* (literalmente, "não tenha medo"). Cortesia do Norton Simon Museum, Pasadena, Califórnia. A imagem deverá retornar à Índia.



Capítulo X

O LIMITE DO ETERNO

Há uma coisa formada confusamente,
Nascida antes do Céu e da Terra.
Silenciosa e oca
Permanece só e não se altera,
Gira e não se fatiga.
É capaz de ser a mãe do mundo.
Não sei o seu nome.
Então nomeei-a de "O Caminho".
Dei-lhe o nome substituto de "O Grande".
Sendo grande, é, além disso, descrito como descendente,
Descendendo, é descrito como distante,
Sendo distante, é descrito como voltando.

— Lao-tse, *Tao Te Ching* (China, cerca de 600 A.C.)

Há um caminho no alto, visível no céu claro, chamado Via-láctea, brilhante pelo seu próprio esplendor. Por ele os deuses vão à residência do grande Trovão e seu domicílio real... Aqui os famosos e poderosos habitantes do céu possuem suas casas. É uma região a que eu posso me atrever a chamar de o Palatino [Caminho] do Grande Céu.

— Ovídio, *Metamorfoses* (Roma, século I)

Alguns homens tolos declararam que o Criador fez o mundo. A doutrina que o mundo foi criado é uma opinião errada e deve ser rejeitada. Se Deus criou o mundo, onde estava Ele antes da criação?...

Como pôde Deus fazer o mundo sem uma matéria-prima? Se dissermos Ele fez isto primeiro e depois o mundo, estamos face a uma regressão sem fim ...

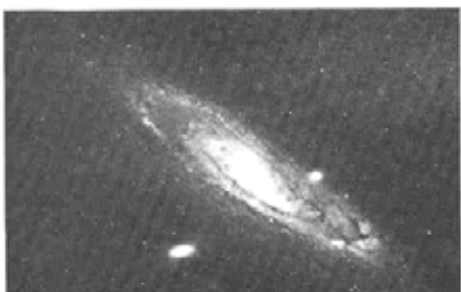
Admito que o mundo é incriado, como o próprio tempo, sem início e fim.

E está baseado nos princípios.

— O Mahapurana (A Grande Lenda), Jinasena (Índia, século IX)



A Galáxia do Redemoinho, M51 (o 51.º objeto no catálogo de Charles Messier), também chamada de NGC 5194. Em 1845, William Parsons, terceiro Conde de Rosse, descobriu a estrutura espiral desta "nebulosa", a primeira galáxia com esta estrutura a ser observada. A treze milhões de anos-luz de distância, está sendo gravitacionalmente deformada pela sua pequena companheira galáctica, a NGC 5195 (abaixo). Cortesia dos Hale Observatories.



A Grande Galáxia em Andrômeda, M31, é o objeto mais distante no Cosmos visível da Terra a olho nu. Com pelo menos sete braços espirais, ela lembra a nossa Via-láctea. Membro do Grupo Local das galáxias, se encontra a cerca de 2,3 milhões de anos-luz de nós. A M31 tem, circulando à sua volta, duas galáxias anãs elípticas, a NGC 205 e, logo acima da espiral, a M32. Cortesia dos Hale Observatories.

HÁ DEZ OU VINTE BILHÕES DE ANOS aconteceu uma coisa — o Big Bang, o evento que iniciou o nosso universo. Por que aconteceu é o nosso maior mistério. Que aconteceu, é racionalmente claro. Toda a matéria e energia atuais no universo estavam concentradas em uma densidade extremamente alta, um tipo de ovo cósmico, remanescente dos mitos da criação de muitas culturas, talvez num ponto matemático com nenhuma dimensão. Não que a matéria e a energia tivessem sido comprimidas em um pequeno canto do universo atual, mas o universo inteiro, matéria e energia, e o espaço que preenchem, ocupavam um volume muito pequeno. Não havia muito lugar para os eventos acontecerem.

Nesta explosão cósmica titânica, o universo iniciou uma expansão que nunca cessou. É um engano descrever a expansão do universo como uma bolha crescendo, vista do lado de fora. Por definição, nada do que sabemos estava do lado de fora. É melhor pensar nela do lado de dentro, talvez com uma grade — imaginemos uma aderência a uma estrutura em movimento do espaço — expandindo uniformemente em todas as direções. À medida que o espaço se estendeu, a matéria e a energia no universo expandiram com ele e esfriaram rapidamente. A radiação da bola de fogo cósmica que, então, como agora, preenchia o universo, moveu-se no espectro, dos raios gama aos raios X e à luz ultravioleta, através do arco-íris de cores do espectro visível, às regiões do infravermelho e do rádio. Os resquícios desta bola de fogo; a radiação do palco cósmico, emanando de todas as partes do céu podem ser detectados pelos radiotelescópios de hoje. No início do universo, o espaço era brilhantemente iluminado. À medida que o tempo passou, sua estrutura continuou a se expandir, a radiação a esfriar em luz visível ordinária; pela primeira vez, o espaço tornou-se escuro, como o é hoje.

O universo, no princípio, era cheio de radiação e pleno de matéria, originalmente hidrogênio e hélio, formados das partículas elementares na densa bola de fogo primitiva. Havia muito pouco a ser visto, se houvesse alguém para fazê-lo. Então, minutos receptáculos de gás, sem formas-padrão começaram a crescer. Formaram-se rebentos de imensas nuvens delgadas de gás, colônias de grandes troncos, formas girando lentamente, brilhando com constância, formas brutas contendo eventualmente cem bilhões de pontos brilhantes. Formaram-se as maiores estruturas reconhecíveis no universo. Nós as vemos hoje. Nós próprios habitamos uma esquina perdida delas. Chamamo-las de galáxias.

Um bilhão de anos após o Big Bang, a distribuição da matéria do universo tornou-se um pouco granulosa, talvez pelo próprio Big Bang não ter sido perfeitamente uniforme. A matéria ficou mais densamente compacta nestes grânulos do que em outros locais. Sua gravidade arrastou para eles quantidades substanciais do gás à volta, nuvens avolumando-se de hidrogênio e hélio que estavam destinados a tornarem-se aglomerados de galáxias. Um grânulo inicial sem forma e muito pequeno era suficiente para produzir posteriormente condensações substanciais de matéria.

À medida que o colapso gravitacional continuou, as galáxias primordiais giraram cada vez mais forte pela conservação do momento angular. Algumas se achataram, comprimindo-se ao longo do eixo equatorial onde a gravidade não é equilibrada pela força centrífuga. Foram as primeiras galáxias em espirais, cataventos de matéria no espaço aberto. Outras protogaláxias, com uma gravidade mais fraca ou com uma rotação inicial menor, achataram pouco e tornaram-se as primeiras galáxias elípticas. Existem galáxias similares, como se moldadas na mesma forma, por todo o Cosmos, porque estas leis simples da natureza — gravidade e conservação do momento angular — são as mesmas por todo o universo. A física que se aplica nos corpos que caem e nas piruetas dos esquiadores no microcosmos da Terra forma as galáxias no macrocosmos do universo.

Dentro das galáxias nascentes, nuvens muito menores também experimentavam o colapso gravitacional; as temperaturas interiores tornaram-se muito altas, iniciaram-se as reações termonucleares e surgiram as primeiras estrelas. As estrelas jovens, massivas e quentes evoluíram rapidamente, esbanjando sem cuidado seu capital de combustível de hidrogênio, logo terminando suas vidas em brilhantes explosões em supernova, voltando às cinzas termonucleares — hélio, carbono, oxigênio e elementos mais pesados — para o gás interestelar originar subseqüentes gerações de formação de estrelas. As explosões em supernova das estrelas jovens e massivas produziam ondas de choque sucessivas e sobrepostas no gás adjacente, comprimindo o meio intergaláctico e acelerando a geração de aglomerados de galáxias. A gravidade é oportuna, ampliando até as pequenas condensações de matéria. As ondas de choque das supernovas podem ter contribuído para os acréscimos de matéria em todas as escalas. O épico da evolução cósmica tinha-se iniciado, uma hierarquia na condensação da matéria proveniente do gás do Big Bang — aglomerados de galáxias, estrelas, planetas e, eventualmente, vida e inteligência capazes de entender um pouco do processo elegante responsável pela sua origem.

Hoje em dia, aglomerados de galáxias preenchem o universo. Alguns são insignificantes, pequenas coleções de algumas dúzias delas. A chamada carinhosamente de "Grupo Local" contém somente duas grandes galáxias, ambas espirais: a Via-láctea e a M31. Outros aglomerados atingem a imensas hordas de milhares de galáxias em um mútuo abraço gravitacional. Há uma sugestão de que o aglomerado de Virgem contém dezenas de milhares de galáxias.,

Em uma escala mais ampla, habitamos um universo de galáxias, talvez uma centena de bilhão de exemplos primorosos de arquitetura cósmica e de perecimento, com ordem e desordem igualmente evidentes: espirais normais em vários ângulos em relação à linha de visada da Terra (com a face voltada para nós, vemos os braços espirais, de bordo as faixas centrais de gás e poeira nas quais são formados os braços); espirais barradas com um rio de gás e poeira e estrelas correndo em direção ao centro, conectando os braços espirais em lados opostos; galáxias elípticas gigantes, soberbas, contendo mais de um trilhão de estrelas que atin-



A NGC 147, uma pequena galáxia elíptica que acompanha a M31. Contém, talvez, milhões de sóis. Dos planetas de algumas destas estrelas, há uma visão admirável da M31. Cortesia dos Hale Observatories.



A Galáxia do Sombrero, M104 (também chamada de NGC 4.594). Os braços espirais, marcados por faixas de poeira, se enroscam firmemente em torno do seu núcleo de estrelas. Está a cerca de 40 milhões de anos-luz de distância, além das estrelas na constelação de Virgem, e podem conter um trilhão de sóis. Vista de perfil a uma distância semelhante, nossa galáxia espiralada, a Via-láctea, se parece com a M104. Cortesia dos Hale Observatories.



M81, outra galáxia espiral próxima, semelhante à Via-láctea; a sete milhões de anos-luz de distância, não é membro do Grupo Local. Não vemos a M81 nem de perfil e nem de frente, mas sim de um ângulo oblíquo. As galáxias são orientadas ao acaso em relação à nossa linha terrena de visada. Cortesia dos Hale Observatories.



Uma galáxia espiral vista de perfil. A NGC 891 possui um núcleo muito menos proeminente do que a M104 (pág.), e faixas de poeira relativamente menos proeminentes nos braços espirais. As estrelas à volta estão em primeiro plano, dentro da nossa própria galáxia. Cortesia dos Hale Observatories.

giram este tamanho porque engoliram e se uniram a outras galáxias; uma abundância de elípticas anãs, insetos galácticos, cada uma contendo milhões de diminutos sóis; uma imensa variedade de irregulares misteriosas, indicações de que no mundo das galáxias há locais onde aconteceu alguma coisa fatalmente errada; e galáxias orbitando tão próximas umas das outras, que seus bordos se inclinam pela gravidade de suas companheiras e, em alguns casos, faixas de gás e poeira são atraídos gravitacionalmente, uma ponte entre as galáxias.

Alguns aglomerados possuem suas galáxias arrumadas em uma geometria claramente esférica; são compostas principalmente de elípticas, muitas vezes dominadas por uma gigante, um pressuposto canibal galáctico. Outros, com uma geometria bem mais desordenada, apresentam comparativamente muito mais espirais e irregulares. As colisões galácticas alteram a forma de um aglomerado originalmente esférico, podendo também contribuir para a gênese de espirais e irregulares provenientes das elípticas. A forma e a abundância das galáxias têm uma história para nos contar dos antigos eventos em uma ampla escala, uma história que estamos começando a ler.

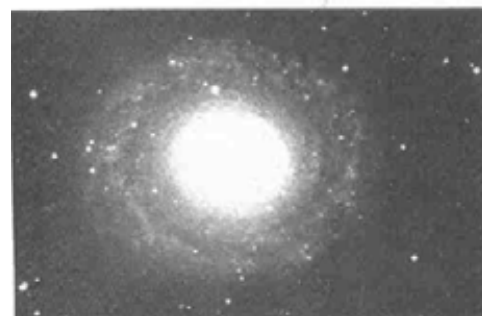
O desenvolvimento do computador de alta velocidade tornou possível experimentos numéricos no movimento coletivo de milhares ou dezenas de milhares de pontos, cada um representando uma estrela, e todos sob a influência gravitacional uns dos outros. Em alguns casos, os braços espirais se formam por eles mesmos em uma galáxia anteriormente achatada em forma de disco. Ocasionalmente um braço espiral pode ser produzido pelo encontro gravitacional íntimo de duas galáxias, cada uma delas composta de bilhões de estrelas. O gás e a poeira, difusamente espalhados por dentro destas galáxias, colidirão e se aquecerão. Mas, quando duas galáxias colidem, as estrelas passam sem esforço uma pela outra, como balas de revólver por entre um enxame de abelhas, pois uma galáxia é formada principalmente de nada, e os espaços entre as estrelas são vastos. Mesmo assim, a configuração das galáxias pode ser gravemente alterada. Um impacto direto de uma galáxia com outra pode lançar as estrelas constituintes no espaço intergaláctico, a dissolução de uma galáxia. Quando uma pequena se choca com uma maior, face a face, pode produzir uma das mais adoráveis e raras irregulares, uma galáxia em anel com milhares de anos-luz de diâmetro, assentada sobre o fundo de veludo do espaço intergaláctico. É uma pancada no lago galáctico, uma configuração temporária de estrelas dilaceradas, uma galáxia com um pedaço central retirado.

As bolhas não estruturadas das galáxias irregulares, os braços das espirais, e o toro das galáxias em anel existem somente em algumas estruturas no cinema cósmico, e então se dissipam, muitas vezes para se refazerem novamente. Nossa idéia de galáxia como corpos rígidos e pesados é errônea. São estruturas fluidas, com 100 bilhões de componentes estelares. Como um ser humano, uma coleção de 100 trilhões de células, está tipicamente em um estado estacionário entre a síntese e a deterioração, e é mais do que a soma das suas partes, assim é uma galáxia.

A taxa de suicídio entre as galáxias é alta. Alguns

exemplos próximos, a dezenas ou centenas de milhões de anos-luz, são fontes poderosas de raios X, radiação infravermelha e ondas de rádio, possuindo núcleos extremamente luminosos, seu brilho se alterando em semanas. Algumas exibem jatos de radiação, plumas de milhares de anos-luz, e discos de poeira em desordem. Estas galáxias estão explodindo. Suspeita-se de buracos negros variando de milhões a bilhões de vezes mais massivos do que o Sol nos núcleos de galáxias elípticas gigantes como a NGC 6251 e a M87. Há algo muito massivo e denso, muito pequeno, pulsando e ronronando dentro da M87 — em uma região menor do que o sistema solar. Existe um buraco negro envolvido. A bilhões de anos-luz há ainda objetos mais turbulentos, os quasars, que podem ser explosões colossais de galáxias jovens, os eventos mais poderosos na história do universo desde o Big Bang.

A palavra "quasar" é um acrônimo de "fonte de rádio quase-estelar". Após saber-se que nem todos eles eram fontes de rádio poderosas, foram chamados de QSO's (objetos quase estelares, em inglês, *quasi-stellar objects*). Por terem a aparência de estrelas,



NGC 7217 na constelação de Pégaso. Os braços espirais se enroscam firmemente em torno do seu núcleo galáctico. A uma distância bem maior, esta galáxia deve aparecer como um ponto semelhante a uma estrela. As galáxias muito distantes não são facilmente reconhecidas pelas suas formas. Cortesia dos Hale Observatories.



NGC 1300, uma espiral barrada. Cerca de um terço das galáxias em espiral apresentam uma "barra" discernível de gás, poeira e estrelas, uma extensão para o centro dos braços espirais. A barra parece estar girando como um corpo rígido, bem como o centro. Todas as espirais conhecidas giram com os braços não conduzindo, mas sim seguindo o caminho determinado pelo centro da galáxia. Cortesia dos Hale Observatories.



Duas representações esquemáticas de quasars nos centros de galáxias massivas. Acima, um disco de acrecimento com gás e poeira circunda um buraco negro rotativo invisível. O material é ejetado ao longo dos jatos a uma velocidade próxima à da luz. Abaixo, massa em condensação de bilhões de sóis aumenta a sua rotação e intensifica o seu campo magnético. Criações de Adolf Schaller.

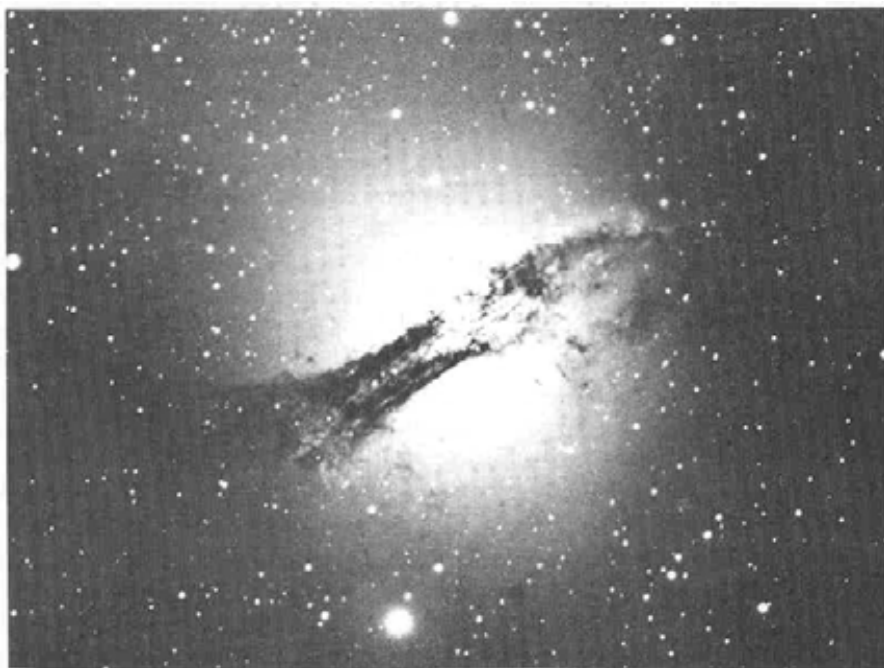


A galáxia mais massiva conhecida. A M87 é uma galáxia elíptica gigante próxima do centro do grande aglomerado de galáxias de Virgem, a quase 40 milhões de anos-luz de distância. Não há quase gás e poeira em suas regiões centrais, todas elas tendo-se transformado em estrelas ou ficando dispersas no espaço. Este objeto aparentemente suave é a terceira fonte mais brilhante de ondas de rádio no céu, após o Sol e a Lua, e uma das fontes mais claras de raios X. As estimativas de sua massa vão de trilhões a centenas de trilhões de sóis. Um jorro de gás de 100.000 anos-luz de comprimento está sendo ejetado do núcleo, que pode encerrar um massivo buraco negro. A M87 é circundada por milhares de aglomerados estelares globulares, alguns dos quais podem ser vistos aqui. Cortesia dos Hale Observatories.

pensou-se naturalmente que eram estrelas dentro da nossa galáxia. Mas observações espectroscópicas do seu desvio para o vermelho (veja abaixo) mostraram que era possível estarem a enormes distâncias. Parecem participar na expansão do universo, alguns se afastando de nós a uma velocidade de mais de 90% da velocidade da luz. Se estão tão distantes devem ser intrinsecamente muito brilhantes para serem visíveis a esta distância; alguns são tão brilhantes quanto mil supernovas ocorrendo juntas. Quanto ao Cyg X-1, suas rápidas flutuações mostram que seu enorme brilho está confinado a um volume muito pequeno; neste caso, menor do que o tamanho do sistema solar. Alguns processos importantes devem ser responsáveis pelo vasto derrame de energia em um quasar. Entre as explanações propostas temos: (1) os quasars são versões-monstros dos pulsars, com um núcleo supermassivo rodando rapidamente conectado a um forte campo magnético; (2) os quasars são consequência de colisões múltiplas de milhões de estrelas densamente compactadas no núcleo galáctico, rompendo as camadas externas e expondo uma visão total de temperaturas de bilhões de graus dos interiores das estrelas massivas; (3) uma outra idéia é que quasars são galáxias nas quais as estrelas estão tão densamente compactadas, que uma explosão em supernova de uma delas rompe as camadas externas de uma outra, transformando-a em supernova, produzindo uma reação estelar em cadeia; (4) os quasars são potencializados pela anulação mútua e violenta da matéria e antimatéria, preservadas até então de alguma forma no quasar; (5) quasar é a energia liberada quando gás, poeira e estrelas caem em um imenso buraco negro no núcleo de uma galáxia, talvez ele mesmo produto de anos de colisão e junção de buracos negros menores; e (6) quasars são "buracos brancos", o outro lado dos buracos negros, um afunilamento e uma eventual emersão de matéria despejada em vários buracos negros em outras partes do universo, ou mesmo em outros universos.

Nas considerações sobre os quasars, confrontamo-nos com mistérios profundos. Independente de qual seja a causa da explosão, um aspecto parece certo: um evento destes deve produzir uma destruição indizível. Em cada quasar, a explosão de milhões de mundos, alguns com vida e inteligência para compreender o que está acontecendo, devem ser inteiramente destruídos. O estudo das galáxias revela uma ordem e beleza universais. Também mostra uma violência caótica em uma escala até então jamais sonhada. É admirável vivermos em um universo que permite a vida. O fato de fazermos parte de um que destrói galáxias, estrelas e mundos é também notável. O universo não é nem benigno, nem hostil, mas meramente indiferente ao que concerne a nós, criaturas insignificantes.

Mesmo uma galáxia de aparência comportada como a Via-láctea tem suas agitações e bailados. As observações em rádio mostram duas nuvens enormes de hidrogênio, suficientes para fazer milhões de sóis, surgindo do núcleo galáctico, como se ocorressem explosões brandas de vez em quando. Um observatório astronômico de alta energia em órbita da Terra descobriu ser o núcleo galáctico uma forte fonte de uma linha

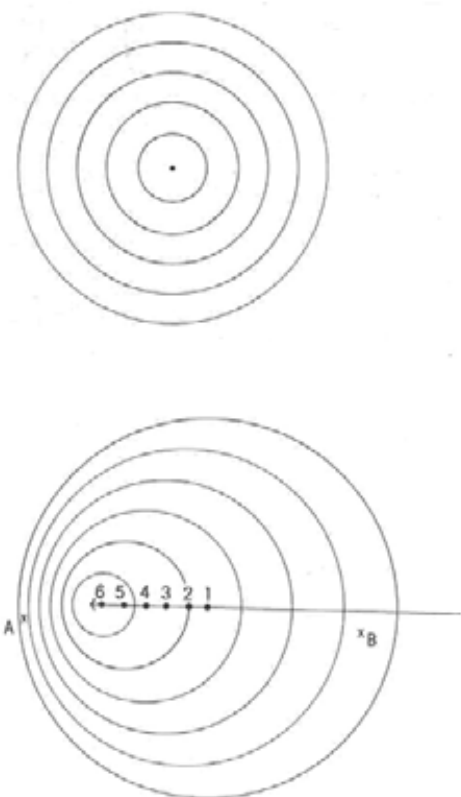


A Centauro A (NGC 5128), talvez a colisão de uma elíptica gigante e uma galáxia espiral, cujos braços fragmentados são vistos de perfil. Hoje é mais comum tê-la como uma elíptica gigante com um complemento disperso de gás e poeira, completamente cercada por um disco de gás e poeira, e, talvez, algumas estrelas. É uma intensa fonte de ondas de rádio que vertem dois grandes lobos orientados em ângulos retos em relação ao disco de poeira, bem como raios X e gama. As rápidas flutuações na emissão de raio X podem ser decorrentes do engolfamento de aglomerados inteiros de estrelas por um gigantesco buraco negro em seu centro. A Centauro A está a 14 milhões de anos-luz de distância; seus lobos de raio possuem 3 milhões de anos-luz de comprimento. Cortesia dos Hale Observatories.

espectral, particular, de raio gama, consistente com a idéia de que há um buraco negro escondido nele. As galáxias como a Via-láctea podem representar a idade média em uma seqüência evolucionária contínua, que contiveram, em sua adolescência violenta, quasars e galáxias explodindo: por estarem muito distantes vemos os quasars em sua juventude, como eram há bilhões de anos.

As estrelas da Via-láctea movem-se com uma graça sistemática. Os aglomerados globulares mergulham no plano galáctico e emergem do outro lado onde diminuem a velocidade, voltam e movem-se rapidamente outra vez. Se pudéssemos seguir o movimento das estrelas individuais oscilando no plano galáctico, elas lembrariam milho de pipoca. Nunca vimos uma galáxia mudar sua forma significativamente somente porque isto demora muito. A Via-láctea gira uma vez a cada quarto de bilhão de anos. Se acelerássemos a rotação, veríamos que a Galáxia é uma entidade dinâmica, quase orgânica, em alguns aspectos lembrando um organismo multicelular. Qualquer fotografia astronômica de uma galáxia é meramente um instantâneo de um estágio em seu movimento e evolução importantes.* A região interna de uma galáxia gira como um corpo sólido. Além disso, como os planetas em torno do Sol, segundo a terceira lei de Kepler, as províncias externas giram progressivamente com mais lentidão. Os braços têm uma tendência a girar em torno do núcleo em uma espiral fechada, e o gás e a poeira se acumulam nos padrões espirais de maior densidade, que são, por sua vez, os locais de formação de estrelas jovens, quentes e brilhantes, estrelas que delineiam os braços espirais. Estas estrelas brilham por dez milhões de anos, mais ou menos, período corres-

*Isto não é bem verdade. O lado próximo da galáxia está a dezenas de milhares de anos-luz mais próximo de nós do que o lado mais longe; assim vemos a parte da frente como se estivesse a dezenas de milhares de anos antes da de trás. Eventos típicos na dinâmica da galáxia ocupam dezenas de milhões de anos, de modo que o erro em pensar na imagem de uma galáxia como congelada em um momento do tempo é pequeno.



O efeito Doppler. Uma fonte estacionária de som ou de luz emite uma série de ondas esféricas. Se a fonte estiver em um movimento da direita para a esquerda, ela emite ondas esféricas progressivamente centradas nos pontos de 1 a 6, como é mostrado. Mas um observador em B vê as ondas alongadas, enquanto que um outro em A as vê comprimidas. Uma fonte que retrocede é vista como desviada para o vermelho (os comprimentos de onda se tornam mais compridos), e uma que se aproxima é vista como desviada para o azul (os comprimentos de onda se tornam mais curtos). O efeito Doppler é a chave para a cosmologia.

pondente a somente 5% da rotação galáctica. Mas, à medida que as estrelas que delineiam o braço espiral explodem, novas estrelas e suas nebulosas associadas formam-se logo depois, e o padrão espiral persiste. As estrelas que delineiam os braços não sobrevivem nem a uma rotação, permanecendo somente o padrão espiral.

A velocidade de qualquer estrela em torno do centro da Galáxia não é, em geral, a mesma do padrão espiral. O Sol esteve com frequência dentro e fora dos braços espirais nas vinte vezes que circundou a Via-láctea a 200 quilômetros por segundo (perto de 804.500 quilômetros por hora). Em média, o Sol e os planetas levam quarenta milhões de anos em um braço espiral, oitenta milhões fora, outros oitenta dentro, e assim por diante. Os braços espirais delineiam a região onde a última colheita de estrelas recém-nascidas está sendo formada, mas não necessariamente onde as estrelas de meia-idade como o Sol estão. Nesta época vivemos entre os braços espirais.

A passagem periódica do sistema estelar pelos braços espirais pode ter tido conseqüências importantes para nós. Há cerca de dez milhões de anos, o Sol emergiu do complexo do Cinturão de Gould do braço espiral de Órion, que agora está a um pouco menos de mil anos-luz de distância. (No interior do braço de Órion está o braço de Sagitário; além do braço de Órion, está o braço de Perseus.) Quando o Sol atravessa um braço espiral, é mais provável que penetre em uma nebulosa gasosa e em nuvens de poeira interestelar, e encontre objetos de massa subestelar. Sugeriu-se que as principais eras glaciais em nosso planeta, que ocorrem a cada centena de milhões de anos ou mais, sejam devido à interposição de matéria interestelar entre o Sol e a Terra. W. Napier e S. Clube propuseram que várias luas, asteróides, cometas e anéis circumplanetários no sistema solar vagavam livremente no espaço interestelar, até serem capturados quando o Sol atravessou o braço espiral de Órion. É uma idéia intrigante, embora talvez não muito provável. Mas é testável. Tudo o que precisamos fazer é procurar uma amostra de, por exemplo, Fobos ou de um cometa, e examinar seus isótopos de magnésio. A abundância relativa de isótopos de magnésio (todos partilhando do mesmo número de prótons, mas possuindo um número diferente de nêutrons) depende da seqüência precisa de eventos nucleossintéticos estelares, incluindo a regularidade das explosões em supernova próximas, que não produzem amostras particulares de magnésio. Em um recanto diferente da Galáxia, deve ter ocorrido uma seqüência diferente de eventos, devendo prevalecer uma proporção diferente de isótopos de magnésio.

A descoberta do Big Bang e a recessão das galáxias vieram de um lugar comum da natureza chamado efeito Doppler. Estamos acostumados a ele na física do som. Um motorista faz soar a buzina quando passa por nós. Dentro do carro o motorista ouve um som firme a um tom fixo. Fora do carro, ouvimos uma alteração característica de tom. Para nós, o som da buzina elide de altas frequências para baixas. Um carro de corrida andando a

200 quilômetros por hora está indo a quase um quinto da velocidade do som. O som é uma sucessão de ondas no ar, uma alta e uma baixa. Quanto mais próximas estiverem as ondas, mais alta a frequência ou tom; quanto mais separadas, mais baixo o tom. Se o carro estiver se afastando de nós, as ondas de som se alongam, movendo-as, do nosso ponto de vista, para um tom mais baixo e produzindo o som característico com o qual estamos todos familiarizados. Se o carro estiver vindo em nossa direção, as ondas de som ficarão comprimidas, a frequência aumentará e ouviremos um tom alto. Se soubermos o tom ordinário da buzina quando o carro estiver parado, poderemos deduzir a sua velocidade de olhos vendados pela mudança do tom.

A luz também é uma onda. Diferente do som, ela atravessa perfeitamente o vácuo. Aqui o efeito Doppler também funciona. Se em vez do som, um automóvel estiver por alguma razão emitindo por trás e pela frente um raio de luz amarela pura, a frequência da luz aumentará ligeiramente à medida que o carro se aproximar e diminuirá na mesma proporção, enquanto o carro se afastar. Em velocidade comum o efeito seria imperceptível. Se, entretanto, o carro estiver de alguma forma viajando a uma velocidade muito grande seremos capazes de observar a cor da luz mudando de acordo com a frequência mais alta, isto é, para o azul à medida que o carro se aproximar de nós, e para mais baixas, isto é, para o vermelho, se o carro se afastar de nós. Um objeto aproximando-se de nós a velocidade muito alta é percebido com a cor das suas linhas espectrais desviada para o azul. Um objeto afastando-se de nós a alta velocidade possui suas linhas espectrais desviadas para o vermelho.* Este desvio observado nas linhas espectrais das galáxias distantes, e interpretado como efeito Doppler, é a chave para a cosmologia.

Durante os primeiros anos deste século, o maior telescópio do mundo, destinado a descobrir o desvio para o vermelho das galáxias remotas, estava sendo construído em Mount Wilson, inspecionando o que era então, o céu claro de Los Angeles. Suas peças grandes tiveram que ser arrastadas ao topo da montanha por um grupo de mulas. Um jovem e magro condutor de mulas, chamado Milton Humason, ajudou a transportar equipamentos mecânicos e ópticos, cientistas, engenheiros e dignitários para a montanha. Humason lideraria a tropa de mulas montado a cavalo, levando um cão terrier atrás na sela, as patas do cão em seus ombros. Mascava tabaco, um jogador excelente de bilhar, o exemplo de homem varonil. Em sua educação formal, nunca fez além do oitavo grau, mas era brilhante e curioso, naturalmente inquisitivo a respeito do equipamento que tinha laboriosamente transportado. Humason fazia companhia à filha de um dos engenheiros do observatório, um homem que mantinha restrições ao fato do contato da sua filha com um homem jovem que não



Galáxias em colisão a cerca de 50 milhões de anos-luz de distância. A NGC 4038 e a NGC 4039 são provavelmente as únicas galáxias emergindo agora de um profundo contato gravitacional. Seus interiores foram claramente desmembrados. Quando estas galáxias foram fotografadas com tempo de exposição prolongado, o detalhe interior desapareceu, e anéis curvos e compridos de luz pouco visíveis nesta imagem se tornaram destacados. Os anéis são compostos de um bilhão de estrelas que se derramaram no espaço intergaláctico, justificando o nome dado a estes dois objetos, "As Antenas". Do início ao término, esta colisão durou mais de cem milhões de anos. Cortesia dos Hale Observatories.



A NGC 2623, outro exemplo de galáxias em colisão no qual vastas faixas luminosas de estrelas são espalhadas através do espaço intergaláctico. Cortesia dos Hale Observatories.

*O objeto pode ter qualquer cor, até azul. O desvio para o vermelho significa somente que cada linha espectral aparece em comprimento de onda mais longo do que quando o objeto está em repouso; a amplitude do desvio para o vermelho é proporcional à velocidade e ao comprimento de onda da linha espectral quando o objeto está em repouso.



Quinteto Stephan. Grupo de cinco galáxias aparentemente em uma interação, descobertas em 1877, o ano em que Schiaparelli "descobriu" canais em Marte e propondo um quebra-cabeças semelhante. Pensa-se que quatro delas estejam perto de um quarto de bilhão de anos de distância. Possuem velocidades de recessão idênticas (6000 quilômetros por segundo), determinadas pelo desvio para o vermelho das suas linhas espectrais, exceto a NGC 7320, mais lenta (que apresenta uma velocidade Doppler de 800 quilômetros por segundo). Se a NGC 7320 está realmente conectada por uma ponte de estrelas com outras galáxias, o argumento observacional de um universo em expansão está em perigo. Mas evidências independentes recentes sugerem que a NGC 7320 está, de fato, muito mais próxima de nós, e que a conexão com outras galáxias é somente aparente. Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. The Kitt Peak Observatory.



Um aglomerado de galáxias algumas vezes chamado de Sexteto Seyfert. Aqui todos os membros apresentam o mesmo desvio para o vermelho, exceto a galáxia que parece uma espiral de frente, que apresenta um desvio para o vermelho quatro vezes maior do que as outras. O Quinteto de Stephan e o Sexteto Seyfert são, talvez, as maiores regiões do Cosmos que receberam nomes de determinadas pessoas. Cortesia dos Hale Observatories.

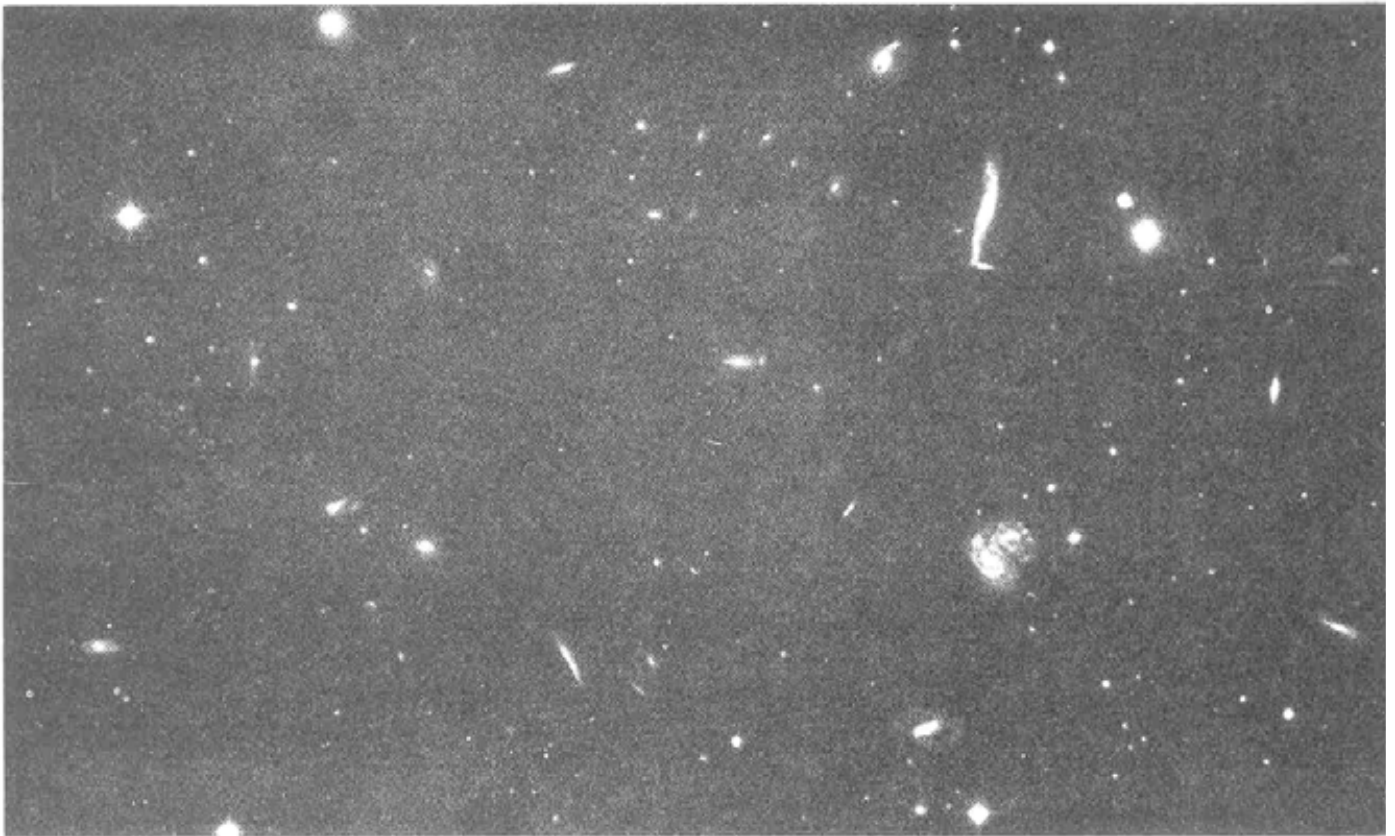
possuía maiores ambições além de ser um condutor de mulas. Humason desempenhou vários papéis no observatório — assistente de electricista, porteiro, e limpou o chão onde colocaram o telescópio que ele havia ajudado a construir. Uma noite, assim diz a história, o responsável pelo telescópio caiu doente e perguntaram a Humason se ele gostaria de preencher a falta. Dispensou tanta habilidade e cuidado com os instrumentos que logo tornou-se um operador permanente do telescópio e um ajudante de observação.

Após a Primeira Guerra Mundial, Edwin Hubble foi para Mount Wilson, onde logo se tornou famoso — brilhante, educado, membro da comunidade astronômica no exterior, com um sotaque inglês adquirido durante um único ano como aluno de Rhodes em Oxford. Foi Hubble quem montou a demonstração final de que as nebulosas espirais eram de fato "universos em ilhas", agregados distantes de enormes quantidades de estrelas, como a nossa própria Via-láctea, e calculou a vela-padrão estelar necessária para medir a distância das galáxias. Hubble e Humason se davam esplendidamente, um par dispare que trabalhava junto ao telescópio de modo muito harmonioso. Seguindo a orientação dada por V. M. Slipher, do Observatório Lowell, começaram a medir o espectro das galáxias distantes. Logo ficou claro que Humason tinha mais capacidade em obter um espectro de alta qualidade das galáxias distantes do que qualquer astrônomo profissional no mundo. Tornou-se membro da equipe permanente do Observatório de Mount Wilson, aprendeu muitos dos alicerces do seu trabalho e morreu rico sob o ponto de vista da comunidade astronômica.

A luz de uma galáxia é a soma da luz emitida pelos bilhões de estrelas que a formam. À medida que a luz destas estrelas é produzida, certas frequências ou cores são absorvidas pelos átomos nas camadas mais exteriores das estrelas. As linhas resultantes nos permitem dizer que estrelas a milhões de anos-luz contêm os mesmos elementos químicos do nosso Sol e das estrelas próximas. Humason e Hubble descobriram, para surpresa deles, que o espectro de todas as galáxias são desviados para o vermelho e, ainda mais espantoso, que quanto mais distante uma galáxia, maior o desvio para o vermelho em suas linhas espectrais.

A explicação mais óbvia para o desvio para o vermelho era em termos do efeito Doppler: as galáxias estavam se afastando de nós; quanto mais distante a galáxia, maior a sua velocidade de recessão. Mas, por que estariam as galáxias fugindo de nós? Haveria algo especial em nossa localização no universo, como se a Via-láctea tivesse realizado algum ato ofensivo, embora inadvertidamente, na vida social das galáxias? Parece mais provável que o próprio universo esteja se expandindo, levando consigo as galáxias. Humason e Hubble, aos poucos, ficaram esclarecidos; tinham descoberto a Big Bang — senão a origem do universo, pelo menos sua encarnação mais recente.

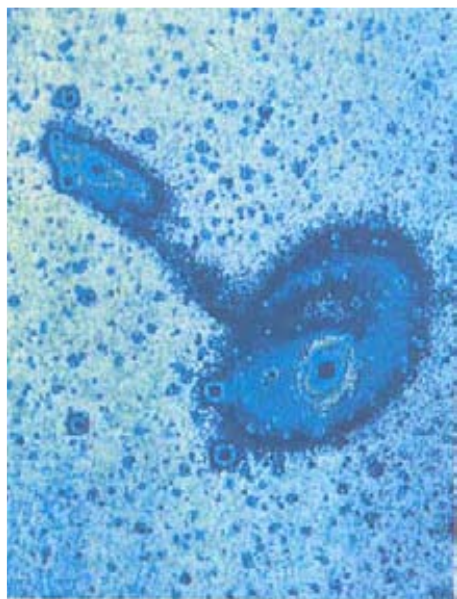
Quase tudo da cosmologia moderna — e especialmente a idéia de um universo em expansão e a Big Bang — está baseado na idéia de que o desvio para o vermelho das galáxias distantes é um efeito Doppler e surge da velocidade de recessão. Mas



existem outros tipos de desvio para o vermelho na natureza. Há, por exemplo, o desvio para o vermelho gravitacional, no qual a luz que deixa um campo gravitacional intenso tem que desprender tamanho esforço para escapar, que perde energia durante a viagem; o processo é percebido por um observador distante como um desvio da luz que escapa para comprimentos de onda maiores e cores mais avermelhadas. Uma vez que imaginamos haver buracos negros massivos no centro de algumas galáxias, isto é uma explicação concebível de seus desvios para o vermelho. Contudo, as linhas espectrais particulares observadas são muitas vezes características de gás muito tênue e difuso, e não da densidade assustadoramente alta que deve prevalecer próximo aos buracos negros. Ou então o desvio para o vermelho deve ser o efeito Doppler decorrente não da expansão geral do universo, mas sim de uma explosão galáctica local e mais modesta. Então devemos esperar tantos fragmentos de explosão viajando em nossa direção quantos os distantes de nós, tantos desvios para o vermelho quantos para o azul. Contudo, o que realmente vemos é quase que exclusivamente desvios para o vermelho, não importando para quais objetos distantes além do Grupo Local apontamos os nossos telescópios.

Não obstante, há uma suspeita incômoda entre alguns astrônomos, de que nem tudo condiz com a dedução — partindo do desvio para o vermelho das galáxias via efeito Doppler — de que o universo está em expansão. O astrônomo Halton Arp descobriu casos enigmáticos e perturbadores onde uma galáxia e um quasar, ou um par de galáxias que estão em uma associação física aparente, possuem desvios para o vermelho muito diferentes. Ocasionalmente parece existir uma parte de gás, poeira e estrelas

Parte de Hércules, aglomerado de galáxias, com cerca de 300 membros conhecidos, afastando-se da nossa região do Cosmos a mais ou menos 10.000 quilômetros por segundo. Nesta fotografia há mais galáxias (a mais de 300 milhões de anos-luz de distância) do que as estrelas em primeiro plano em nossa Via-láctea. Se o Aglomerado de Hércules não estiver se dispersando, deverá haver cinco vezes mais massa naquela região unindo gravitacionalmente o aglomerado do que vemos em suas galáxias. Esta "massa invisível", se for comum no espaço intergaláctico, será uma contribuição importante ao fechamento do universo. Cortesia dos Hale Observatories.



Novas estrelas estão sendo formadas na "ponte" que une duas galáxias (ESO B138 — IG29, 30). Imagem em cor falsa ampliada por computador. Cortesia de Arthur Hoag e Kitt Peak National Observatory.



Milton Humason, astrônomo (1891-1957). Cortesia dos Hale Observatories.

conectando-as. Se o desvio para o vermelho é devido à expansão do universo, desvios para o vermelho muito diferentes implicam em distâncias muito diferentes. Duas galáxias fisicamente unidas dificilmente podem estar também muito separadas uma da outra, em alguns casos por um bilhão de anos-luz. Os céticos dizem que a associação é puramente estatística; que, por exemplo, uma galáxia brilhante próxima e um quasar muito mais distante, cada um com o desvio para o vermelho bem diferente do outro, bem como a velocidade de recessão, estão meramente alinhados de modo acidental ao longo da linha de visada; que não têm nenhuma associação física real. Tais alinhamentos estatísticos podem acontecer ao acaso de vez em quando. O debate se prende ao aspecto se o número de coincidências é mais do que seria esperado pelo acaso. Arp aponta outros casos nos quais uma galáxia, com um pequeno desvio para o vermelho, está flanqueada por dois quasars de grandes e quase iguais desvios para o vermelho. Ele acredita que os quasars não estejam a distâncias cosmológicas, mas que, ao contrário, estejam sendo ejetados, para a esquerda e para a direita, pela galáxia em "primeiro plano", e que os desvios para o vermelho sejam o resultado de algum mecanismo até então impenetrado. Os céticos sustentam o alinhamento coincidental e a interpretação convencional de Hubble-Humason do desvio para o vermelho. Se Arp estiver certo, os mecanismos exóticos propostos para explicar a fonte energética dos quasars distantes — reações em cadeia de supernovas, buracos negros supermassivos e outros — não serão necessários. Os quasars então não precisam estar tão distantes. Outro mecanismo exótico será exigido para explicar o desvio para o vermelho. Em qualquer caso, algo muito estranho está acontecendo nas profundezas do espaço.

A recessão aparente das galáxias, com o desvio para o vermelho interpretado pelo efeito Doppler, não é a única evidência do Big Bang. Outras, independentes e muito persuasivas, desviam da radiação de corpo negro de fundo cósmico, a débil estática de ondas de rádio provenientes, de modo bem uniforme, de todas as direções do Cosmos, na intensidade esperada, em nossa época, da radiação agora substancialmente resfriada do Big Bang. Aqui também há algo desconcertante. Observações com uma antena sensível de rádio, levada próximo ao topo da atmosfera terrestre em um avião U-2, mostraram que a radiação de fundo é, em uma primeira aproximação, intensa em todas as direções, como se a bola de fogo do Big Bang tivesse expandido uniformemente, uma origem do universo com uma simetria muito precisa. Mas a radiação de fundo, quando examinada com maior acuro, mostra ser imprecisamente simétrica. Há um pequeno efeito sistemático que poderia ser entendido se a Via-láctea inteira (e presumivelmente outros membros do Grupo Local) estivesse se movendo em direção ao aglomerado de galáxias de Virgo a mais de um milhão de milhas por hora (600 quilômetros por segundo). Neste ritmo, nós o atingiremos em dez bilhões de anos, e a astronomia extragaláctica estará bem facilitada. O aglomerado de Virgo é a coleção de galáxias mais rica conhecida, repleta de espirais, elípticas e irregulares, uma caixa de jóias

no céu. Mas, por que estaremos correndo em sua direção? George Smoot e seus colegas, que fizeram estas observações a grande altitude, sugeriram que a Via-láctea está sendo gravitacionalmente dragada para o centro do aglomerado de Virgo e que este possui muito mais galáxias do que as detectadas até então; ainda mais surpreendente, o aglomerado tem proporções imensas, alongando-se por um ou dois bilhões de anos-luz no espaço.

O universo observável tem somente algumas dezenas de bilhões de anos-luz de extensão e, se existe um grande superaglomerado no grupo de Virgo, talvez haja outros superaglomerados a distâncias muito maiores, correspondentemente mais difíceis de serem detectados. Na duração de vida do universo aparentemente não houve tempo para uma não-uniformidade gravitacional inicial coletar a quantidade de massa que parece residir no superaglomerado de Virgo. Deste modo, Smoot tenta concluir que o Big Bang foi muito menos uniforme do que suas observações sugerem e que a distribuição original de matéria no universo foi muito desigual. (Uma desigualdade menor é esperada e até mesmo necessária à compreensão da condensação das galáxias, mas nesta escala é surpreendente.) Talvez o paradoxo possa ser resolvido imaginando-se dois ou mais Big Bangs simultâneos.

Se o quadro geral de um universo em expansão e de um Big Bang é correto, confrontar-nos-emos com perguntas ainda mais difíceis. Quais eram as condições quando ocorreu o Big Bang? O que aconteceu antes? Haveria um pequeno universo livre de toda a matéria, e então subitamente a matéria se criou do nada? Como isto aconteceu? Em muitas culturas é costume responder-se que Deus criou o universo do nada, mas isto é mera temporização. Se desejamos corajosamente dedicar-nos à pergunta, devemos naturalmente perguntar de onde veio Deus. E se decidirmos que isto não tem resposta, por que não salvaguardar um aspecto e decidir que a origem do universo é uma pergunta sem resposta? Ou, se afirmarmos que Deus realmente existe, por que não concluir que o universo sempre existiu?

Todas as culturas possuem um mito para o mundo antes da criação e para a criação do mundo, muitas vezes pelo casamento entre os deuses ou pela incubação de um ovo cósmico. Com frequência o universo é ingenuamente imaginado como consequência dos antecedentes humanos ou animais. Temos aqui, por exemplo, cinco pequenos extratos de mitos deste tipo, em níveis diferentes de sofisticação, do Oceano Pacífico.

No início tudo repousava na escuridão perpétua: a noite oprimia tudo como uma mata impenetrável.

— O mito do Pai Grande do povo Aranda da Austrália Central

Tudo estava suspenso, em calma e em silêncio; tudo sem movimento e quieto; e a extensão do céu estava vazia.

— O Popol Vuh dos Mayas Quiché



Antiga imagem chinesa da criação apresentando uma hélice dupla entrelaçada, representando a interação dos opostos resultando na Criação. Imagens de constelações estão por trás dos deuses criadores. Cortesia do Museum of Fine Arts, Boston.



A concepção tântrica budista do "ser puro", na forma de um "ovo do mundo". Com a fertilização, o ovo se diferencia em "força da vida" feminina no centro e energia ativadora masculina (as linhas divisórias). Emerge então a vida consciente. Fotografia de Ajit Mookerjee do livro *Tantra: The Indian Cult of Ecstasy*, de Philip Rawson. Copyright © 1973 by Thames & Hudson Ltd. Reproduzida com permissão de Thames & Hudson, Londres e Nova Iorque.



Pintura dos índios huichol do México, feita com fios e cera de abelhas, representando a Criação. Nesta imagem, vemos os primeiros seres. As cinco serpentes são as Mães das Águas e representam as águas terrestres. À direita aparece a primeira planta produzindo flores masculinas e femininas. À esquerda, o Pai Sol está acompanhado pela Estrela da Manhã. Cortesia de Peter Furst, Delmar, Nova Iorque.



A visão tradicional judaica-cristã da Criação do Cosmos. Deus (no alto) fez a Terra e seus habitantes (os primeiros humanos, Adão e Eva ao centro). À volta da Terra estão pássaros, nuvens, o Sol, a Lua e as estrelas, e acima delas "as águas do firmamento". Da *Bíblia* de Martinho Lutero, publicada por Hans Lufft, Wittenberg, 1534.

Na Arean estava sozinho no espaço como uma nuvem que flutua no nada. Não dormia porque não havia sono, não estava faminto por que não havia fome. Assim permaneceu por muito tempo, até que veio um pensamento à sua mente. Disse a si mesmo: "Eu farei uma coisa".

— Um mito do Maiana, Ilhas Gilbert.

Primeiro havia o grande ovo cósmico; dentro do ovo era o caos, e flutuando no caos estava P'an Ku, o Não Desenvolvido, o divino Embrião. E P'an Ku brotou do ovo, quatro vezes maior do que qualquer homem de hoje, com um martelo e um cinzel em suas mãos, com os quais moldou o mundo.

— Os mitos de P'an Ku, China (por volta do século III)

Antes do céu e da terra terem forma, tudo era vago e amorfo ... O que era claro e a luz uniram-se e formaram o céu, enquanto o que era pesado e turvo se solidificaram. Por isso o céu se completou primeiro e a terra assumiu sua forma depois. Quando o céu e a terra se uniram no vazio e tudo era de uma simplicidade sem modelos, então, sem terem sido criadas as coisas passaram a ser. Foi a Grande Unidade. Todas as coisas emanaram desta Unidade, mas ficaram diferentes entre si...

— Huai-nan Tzu, China (por volta do século I A.C.)

Estes mitos são tributos da audácia humana. A principal diferença entre eles e nosso mito científico moderno do Big Bang é que a ciência se autoquestiona e que podemos executar experiências e observações para testar nossas idéias. As outras histórias da criação são dignas do nosso profundo respeito.

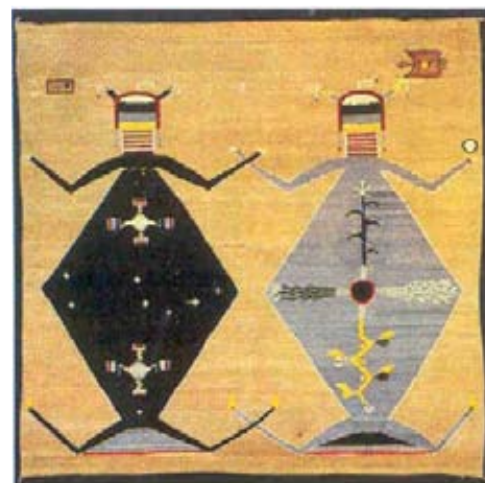
Cada cultura humana se regozija com o fato de existirem ciclos na natureza. Pensava-se como estes ciclos podiam ocorrer sem que os deuses os desejassem? E se existem ciclos nos anos dos seres humanos, não deveria haver ciclos nas eternidades dos deuses? A religião hindu é a única entre as grandes fés do mundo dedicada à idéia de que o próprio Cosmos sofre um número imenso, talvez infinito, de mortes e renascimentos. É a única religião na qual as escalas de tempo correspondem, por acidente, às da cosmologia científica moderna. Seus ciclos vão do dia e noite comuns ao dia e noite de Brahma, 8,64 bilhões de anos de duração, mais do que a idade da Terra ou do Sol, e cerca de metade do tempo do Big Bang. E ainda existem escalas de tempo ainda maiores.

Há uma noção profunda e de apelação que o universo não é senão um sonho do deus que, após cem anos-Brahma, dissolve-se em um sono sem sonhos. O universo o dissolve até que, após um outro século-Brahma, ele se move, recompõe-se e começa novamente a sonhar o grande sonho cósmico. Enquanto isto, em algum local, há um número infinito de outros universos, cada um com seu próprio deus sonhando o sonho cósmico. Estas grandes idéias são temperadas por outra ainda maior. Diz-se que os homens não podem ser sonhos de deuses, mas sim que os deuses são sonhos dos homens.

Na Índia há muitos deuses, e cada um possui muitas manifestações. Os bronzes Chola do século XI incluem várias encarnações diferentes do deus Shiva. A mais elegante e sublime delas é a representação da criação do universo no início de cada ciclo cósmico, um motivo conhecido como a dança cósmica de Shiva. O deus, chamado nesta manifestação de Nataraja, o Rei da Dança, possui quatro mãos. Na mão direita superior há um tambor cujo som é o da criação. Na mão esquerda superior há uma língua de fogo, uma recordação de que o universo, então recentemente criado, será inteiramente destruído daqui a bilhões de anos.

Estas imagens profundas e bonitas são, segundo eu gosto de pensar, um tipo de premonição das idéias astronômicas modernas.* Muito provavelmente, o universo tem-se expandido desde o Big Bang, mas de modo nenhum sabe-se se continuará a fazê-lo para sempre. A expansão pode ser gradualmente lenta, e reverter-se. Se existe menos do que uma certa quantidade crítica de matéria no universo, a gravidade das galáxias em recessão será insuficiente para parar a expansão, e o universo crescerá para sempre. Mas se houver mais matéria do que podemos ver, escondida além dos buracos negros ou no gás aquecido porém invisível entre as galáxias, o universo então se manterá unido gravitacionalmente e participará de uma antiga sucessão indiana de ciclos, expansão seguida de contração, universo sobre universo, Cosmos sem fim. Se vivemos em um universo oscilante, então o Big Bang não é uma criação do Cosmos, mas meramente o fim de um ciclo prévio, a destruição da última encarnação do Cosmos.

Nenhuma destas cosmologias modernas pode ser inteiramente do nosso agrado. Em uma delas o universo é criado, de alguma forma, há dez ou vinte bilhões de anos, e se expande para sempre, as galáxias recuando mutuamente, até que a última desapareça no horizonte cósmico. Os astrônomos galácticos não trabalhariam mais, as estrelas esfriariam e morreriam, a própria matéria se degeneraria e o universo se tornaria um nevoeiro tênue e frio de partículas elementares. Em outra, o universo oscilante, o Cosmos não tem princípio nem fim, estamos no meio de um ciclo infinito de mortes e renascimentos cósmicos, com nenhuma informação passando por entre os ápices de uma oscilação. Nada das galáxias, estrelas, planetas, formas de vida ou civilizações se desenvolveram na encarnação prévia da infusão do universo para o ápice, agitações após o Big Bang, para serem conhecidas em nosso universo atual. O destino do universo em qualquer cosmologia pode parecer pouco depressivo, mas podemos ter uma consolação nas escalas do tempo envolvidas. Estes eventos ocuparão dezenas de



Pintura com areia dos índios navajos, "Pai Céu e Mãe Terra". Contida na imagem preta do Pai Céu, à esquerda, estão várias constelações, incluindo, ao centro, a Ursa Maior. A Mãe Terra, à direita, contém as quatro plantas sagradas dos navajos: feijão, milho, tabaco e abóbora. Acima, à direita, está um morcego com uma bolsa de poções (o pequeno diamante amarelo) representando "bonança". Cortesia do Denver Museum of Art, Denver, Colorado.



Pintura huichol representando a origem do Sol. Acima, à esquerda, o Sol ainda não nascido é saudado pela Deusa Terra, enquanto o filho dela dispara seu arco em direção a uma roda solar pouco antes do seu sacrifício e transmutação em uma deidade solar. A forma raiada, embaixo, à esquerda, é a lagoa oeste na qual o jovem desce em sua viagem subterrânea para o leste e para o primeiro nascer do sol. Cortesia de Peter Furst, Delmar, Nova Iorque.

*As datas nas inscrições maias também mergulham fundo no passado e ocasionalmente fundo no futuro. Uma inscrição se refere a um tempo há mais de um milhão de anos e outra talvez se refira a eventos de 400 milhões de anos atrás, embora seja a causa de alguns desentendimentos entre estudiosos da cultura. Os eventos memorizados podem ser míticos, mas as escalas de tempo são prodigiosas. Um milênio antes dos europeus desejarem despojar-se da idéia bíblica de que o mundo tinha poucos milhares de anos, os maias pensavam em milhões e os indianos em bilhões.



Interpretação moderna de um motivo egípcio antigo e comum da Criação. Nesta, Shu, deus da luz e do ar (com os braços levantados), separa Nut, deusa do céu, de Geb, deus da Terra, deitado embaixo. Deidades menores assistem. A figura do falcão à esquerda é Horus, deus do Baixo Egito, e posteriormente identificado como o faraó reinante. Pintura de Brown.



Imagem de criação dogon da República de Mali, apresentando Nommo, deus fálico da criação, fixado no instante de sua metamorfose em crocodilo. Cortesia de Lester Wunderman, Nova Iorque, Nova Iorque.

bilhões de anos ou mais. Os seres humanos e nossos descendentes, sejam quais forem, podem aperfeiçoar-se muito em dezenas de bilhões de anos, antes que o Cosmos morra.

Se o universo realmente oscila, surgem perguntas ainda mais estranhas. Alguns cientistas acham que quando uma expansão é seguida de uma contração, quando os espectros das galáxias distantes estão todos desviados para o azul, a causalidade será invertida e os efeitos precederão as causas. Primeiro as ondas se espalham de um ponto na superfície da água e então jogamos uma pedra no lago. Primeiro o archote queima, então o acendemos. Não podemos pretender compreender o significado desta inversão de causalidade. Em algum tempo as pessoas nascerão nas tumbas e morrerão no ventre? Voltará o tempo para trás? Terão estas perguntas algum significado?

Os cientistas se perguntam sobre o que acontece em um universo oscilante nos seus ápices, na transição de uma contração para uma expansão. Alguns pensam que as leis da natureza são rearrumadas ao acaso, que o tipo de física e química que coordena este universo representa somente uma, de uma gama infinita de leis naturais possíveis. É fácil verificar-se que somente uma gama muito restrita de leis da natureza são consistentes com galáxias e estrelas, planetas, vida e inteligência. Se as leis da natureza são imprevisivelmente reclassificadas nos ápices, será somente pela coincidência mais extraordinária que o distribuidor automático cósmico fará surgir desta vez um universo consistente conosco.*

Vivemos em um universo que se expande para sempre, ou em um onde há um grupo infinito de ciclos? Há meios para se descobrir: fazendo um censo preciso da quantidade total de matéria no universo, ou vendo o limite do Cosmos.

Os radiotelescópios podem detectar objetos muito distantes e muito pálidos. Quando olhamos o espaço profundo, também olhamos para trás no tempo. O quasar mais próximo está, talvez, a meio bilhão de anos-luz, o mais longe talvez a dez, doze ou mais bilhões. Mas se vemos um objeto a doze bilhões de anos-luz, estamos vendo como era a doze bilhões de anos no tempo. Olhando para dentro, no espaço, estamos também olhando para trás no tempo, para trás em direção ao horizonte do universo, para trás em direção à época do Big Bang.

O Very Large Array (VLA) é uma coleção de vinte e sete radiotelescópios separados, em uma região remota do Novo

*As leis da natureza não podem ser rearrumadas ao acaso nos ápices. Se o universo tiver realmente atravessando muitas oscilações, muitas possíveis leis da gravidade foram tão fracas que, para qualquer expansão inicial dada, o universo não teria se unido. Uma vez que o universo tropeçou em uma lei gravitacional, ele se separa e não há outra oportunidade para experimentar outra oscilação e outro ápice, e outro grupo de leis da natureza. Assim, pode-se deduzir do fato que o universo existe ou com uma idade finita, ou com uma severa restrição nos tipos de leis da natureza permitidos em cada oscilação. Se as leis da física não são rearrumadas ao acaso nos ápices, deve haver uma regularidade, um grupo de regras, que determina as leis permissíveis e aquelas que não o são. Este grupo de leis compreende uma nova física acima da existente. Nossa linguagem é pobre: parece não haver um nome adequado para esta nova física. Tanto a "parafísica" como a "metafísica" foram preenchidas por outras atividades bem diferentes, e possivelmente de todo irrelevantes. Talvez "transfísica" sirva.



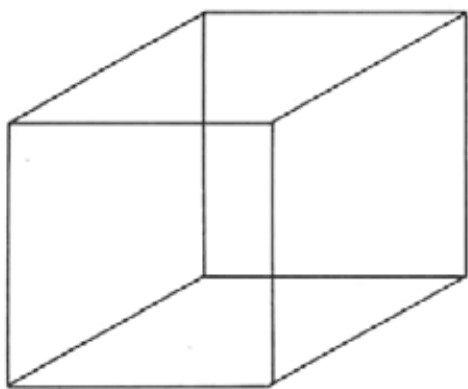
Alguns dos radiotelescópios do Very Large Array [Arranjo de Longa Base], Socorro, Novo México, operados pelo Observatório Nacional de Radioastronomia. Os telescópios se movem em trilhos de via férrea; sua separação determina a resolução da imagem de rádio resultante.

México. É um arranjo em fase, os telescópios individuais conectados eletronicamente, como se fosse um único telescópio do mesmo tamanho até nos menores elementos, como se fosse um radiotelescópio de dezenas de quilômetros de extensão. O VLA é capaz de resolver ou discriminar detalhes sutis nas regiões de rádio do espectro, comparável ao que os maiores telescópios de solo podem fazer na região óptica do espectro.

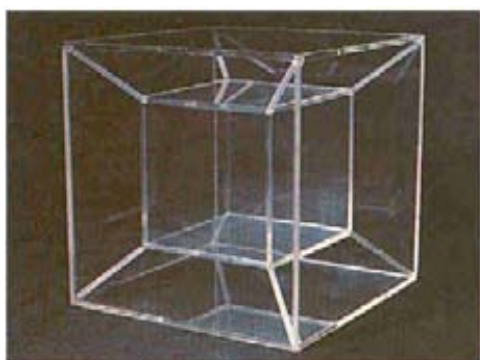
Algumas vezes estes radiotelescópios são conectados a telescópios no outro lado da Terra, formando uma linha-base comparável ao diâmetro da Terra — em um certo sentido, um telescópio tão grande quanto o planeta. No futuro poderemos ter telescópios na órbita da Terra circundando também o Sol; com efeito, um radiotelescópio tão grande quanto o sistema solar interior. Estes telescópios podem revelar a estrutura interna e a natureza dos quasars. Talvez possa ser encontrada uma vela-padrão do quasar, e a distância aos quasares determinada independente dos seus desvios para o vermelho. Compreendendo a estrutura e o desvio para o vermelho dos quasars mais distantes, talvez seja possível verificar se a expansão do universo era mais rápida há bilhões de anos, ou se está diminuindo, ou se o universo um dia entrará em colapso.

Os modernos radiotelescópios são muitíssimo sensíveis; um quasar distante é tão pálido que a sua radiação detectada atinge talvez a um quadrilhionésimo de watt. A quantidade total de energia de fora do sistema solar jamais recebida por todos os radiotelescópios no planeta Terra é menos do que a energia de um único floco de neve tocando o solo. Na detecção da radiação do plano cósmico, na contagem dos quasars, na procura por sinais inteligentes provenientes do espaço, os rádio-astrônomos estão lidando com quantidades de energia que simplesmente se encontram lá.

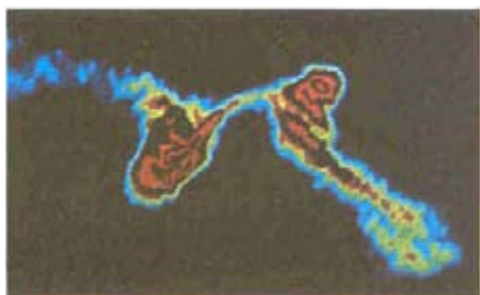
Alguma matéria, particularmente a matéria das estrelas, cintila à luz visível, sendo fácil de ser vista. Outras matérias, gás e poeira nos confins das galáxias, por exemplo, não são tão prontamente detectadas. Não aparecem na luz visível, embora o façam nas ondas de rádio. Esta é uma razão por que o desvendar



Representação convencional bidimensional de um cubo.



Representação convencional bidimensional de um tesseract ou hipercubo (modelo tridimensional reduzido a uma nova dimensão nesta página).



Rádio-imagem da galáxia elíptica NGC 3266. Imagem em cor falsa do Very Large Array.

dos mistérios cosmológicos requer de nós o uso de instrumentos exóticos e frequências diferentes da luz visível, a qual os nossos olhos são sensíveis. Observatórios em órbita da Terra descobriram uma incandescência intensa de raios X entre as galáxias. Pensou-se primeiro ser hidrogênio intergaláctico aquecido, uma quantidade imensa jamais vista antes, talvez suficiente para fechar o Cosmos e para garantir que estamos aprisionados em um universo oscilante. As observações mais recentes de Ricardo Giacconi podem ter resolvido a incandescência de raios X em pontos individuais, talvez uma imensa horda de quasars distantes. Também contribuíram previamente com a massa desconhecida do universo. Quando o inventário cósmico estiver completo e a massa de todas as galáxias, quasars, buracos negros, hidrogênio intergaláctico, ondas gravitacionais e habitantes do espaço ainda mais estranhos, somada, saberemos o tipo de universo que habitamos.

Discutindo a estrutura em grande escala do Cosmos, os astrônomos descobriram-se dizendo que o espaço é curvo, ou que não há um centro no Cosmos, ou que o universo é finito mas sem fronteiras. De que estariam eles falando? Imaginemos que habitamos um país estranho onde todos são perfeitamente planos. Segundo Edwin Abbott, um estudioso de Shakespeare que viveu na Inglaterra vitoriana, nos a chamamos de Terra dos Planos. Alguns de nós são quadrados, outros, triângulos, alguns possuem formas mais complexas. Corremos precipitadamente para dentro e para fora de nossas construções planas, ocupados com nossos afazeres e brincadeiras planas. Todos na Terra dos Planos têm largura e comprimento, mas não altura. Sabemos sobre esquerda e direita, para frente e para trás, mas nenhuma idéia, ou remota compreensão, sobre em cima e embaixo, exceto os matemáticos planos. Eles dizem: "Escutem, é muito fácil. Imaginem a esquerda e a direita. Imaginem à frente e atrás. Tudo bem até aqui? Agora imaginem outra dimensão, em ângulos retos com as outras duas." E nós respondemos: "Do que vocês estão falando? Ângulos retos com as outras duas? Existem somente duas dimensões. Apontem esta terceira dimensão. Onde está ela?" Então os matemáticos, desanimados, desistem. Ninguém escuta os matemáticos.

Toda criatura quadrada na Terra dos Planos vê outro quadrado meramente como um pequeno segmento de reta, o lado do quadrado mais próximo dela. Ela pode ver o outro lado do quadrado somente se caminhar um pouco. Mas o interior do quadrado é sempre misterioso, a menos que algum acidente terrível ou autópsia rompa os lados e exponha as partes internas. Um dia, uma criatura tridimensional, com a forma de uma maçã, por exemplo, chegou à Terra dos Planos e andou a esmo por lá. Observando um quadrado particularmente atraente e bem proporcionado, entrando em sua casa plana, a maçã decide, em um gesto de amizade interdimensional, dizer "olá". "Como vai você?" pergunta o visitante da terceira dimensão. "Eu sou um visitante da terceira dimensão." O infeliz quadrado olha à volta da sua casa e não vê ninguém. Ainda pior, para ele, parece que o cumprimento, vindo de cima, está emanando do seu próprio

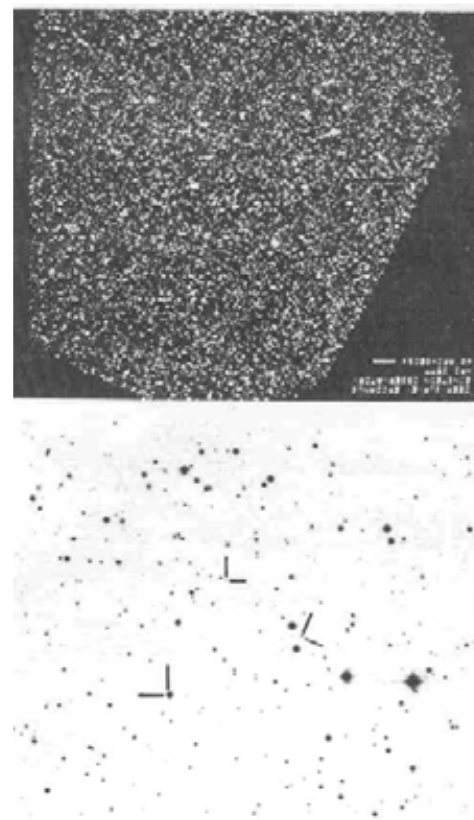
corpo plano, uma voz do interior. Uma pequena insanidade, talvez ele pense corajosamente, e corre para a sua família.

Exasperada por estar sendo julgada uma aberração psicológica, a maçã desce à Terra dos Planos. Agora, uma criatura tridimensional pode existir, na Terra dos Planos, somente em parte; pode ser visto somente um corte, somente os pontos de contato com a superfície plana da Terra dos Planos. Uma maçã escorregando na Terra dos Planos apareceria primeiro como um ponto e então progressivamente maior, quase que em fatias circulares. O quadrado vê um ponto aparecendo em um quarto fechado em seu mundo bidimensional e lentamente crescer transformando-se quase em um círculo. Uma criatura de forma estranha e mutável surgiu de algum lugar.

Rejeitada, infeliz com a obtusidade dos muitos planos, a maçã bate com força no quadrado e o levanta, vibrando e girando nesta misteriosa terceira dimensão. A princípio o quadrado não consegue entender o que está acontecendo: está totalmente fora da sua experiência. Eventualmente ele se conscientiza de que está vendo a Terra dos Planos de um local vantajoso peculiar: "acima". Pode ver dentro de quartos fechados e dentro de seus companheiros planos. Está vendo seu universo de uma única e devastadora perspectiva. Viajar através de uma outra dimensão proporciona, como um benefício incidental, um tipo de visão de raios X. Eventualmente, como uma folha que cai, nosso quadrado lentamente desce para a superfície. Do ponto de vista dos seus companheiros da Terra dos Planos, ele desapareceu de modo inexplicável de um quarto fechado, e então materializou-se, aflito, em algum lugar. "Pelo amor de Deus", dizem eles, "o que aconteceu com você?" "Penso", descobriu-se dizendo, "que estava acima". Eles dão pancadinhas em seus lados e o confortam. As decepções sempre aconteceram na família.

Nestas contemplações interdimensionais, precisamos não nos restringir a duas dimensões. Podemos, segundo Abbott, imaginar um mundo de uma dimensão, onde todos são um segmento de reta, ou até um mundo mágico de seres zero-dimensionais, os pontos. Talvez sejam mais interessantes as perguntas sobre dimensões maiores. Poderá haver uma quarta dimensão física?*

Podemos imaginar o gerar de um cubo da seguinte forma: tome um segmento de reta de um determinado comprimento e mova-o em comprimentos iguais a ângulos retos com ele mesmo. Isto forma um quadrado. Mova o quadrado em comprimentos iguais em ângulos retos com ele mesmo e teremos um cubo. Entendemos que este cubo lança uma sombra, que geralmente



Perspectiva de um céu escuro em raio X (ao alto), contendo a constelação de Eridano, tirada pelo Einstein High Energy Astrophysical Observatory, em órbita da Terra. A mesma região em luz visível ordinária é mostrada abaixo com três quasars indicados. Cortesia de Ricardo Giacconi e da NASA.

*Se existisse uma criatura de quatro dimensões ela poderia, em nosso universo tridimensional, aparecer e se desmaterializar à vontade, mudar acentuadamente sua forma, arrancar-nos de quartos trancados e fazer-nos surgir de algum lugar. Também poderia nos virar pelo avesso. Há muitos modos pelos quais podemos ser virados pelo avesso: o menos agradável resultaria em nossas vísceras e órgãos internos estando fora, e o Cosmos inteiro — gás intergaláctico incandescente, galáxias, planetas, tudo — do lado de dentro. Não sei se a idéia me agrada.

desenhamos como dois quadrados com seus vértices unidos. Se examinarmos a sombra do cubo em duas dimensões, notaremos que todas as linhas não são iguais e nem todos os ângulos retos. O objeto tridimensional não foi perfeitamente representado nesta transfiguração em duas dimensões. É o preço da perda de uma dimensão na projeção geométrica. Tomemos agora nosso cubo tridimensional e transportemo-lo, em ângulo reto com ele mesmo, para uma quarta dimensão: não esquerda-direita, não frente e trás, não acima e abaixo, mas simultaneamente em ângulos retos a todas estas direções. Não posso mostrar que direção é esta, mas posso imaginar que ela exista. Neste caso teremos gerado um hipercubo quadridimensional, também chamado tesseract. Não posso mostrar-lhes uma tesseract porque estamos aprisionados em três dimensões. O que posso apresentar é a sombra em três dimensões de um tesseract. Parecem dois cubos aninhados, todos os vértices unidos por linhas. Para um tesseract real em quatro dimensões, todas as linhas seriam de igual comprimento e todos os ângulos seriam retos.

Imaginemos um universo como a Terra dos Planos, exceto que desconhecido dos habitantes, seu universo bidimensional é curvado em direção a uma terceira dimensão física. Quando os habitantes andam um pouco, seu universo parece bem plano. Mas se um deles anda mais obedecendo ao que parece uma perfeita linha reta, ele descobre um grande mistério; embora não tenha alcançado uma barreira e nunca tenha voltado, ele de alguma forma voltou ao local do qual tinha partido. Este universo bidimensional deve ter sido torcido, inclinado ou curvado em direção a uma misteriosa terceira dimensão. Ele não pode imaginar a terceira dimensão, mas consegue deduzi-la. Aumentem todas as dimensões na história, exceto uma, e teremos uma situação que pode ser aplicada a nós.

Onde é o centro do Cosmos? Há um limite para o universo? O que fica atrás? Em um universo bidimensional curvado para uma terceira dimensão, não há centro, pelo menos não na superfície da esfera. O centro deste universo não está *no* universo, mas sim inacessível, na terceira dimensão, dentro da esfera. Enquanto houver somente uma grande área na superfície, não há limite para este universo, ele é finito, mas sem fronteiras. E a questão sobre o que fica atrás não tem significado. As criaturas planas não podem por si próprias, escapar das suas duas dimensões.

Aumentem todas as dimensões, exceto uma, e teremos uma situação que se aplica a nós: o universo como uma hiperesfera quadridimensional, sem centro e sem bordo, e nada atrás. Por que todas as galáxias parecem estar se afastando de nós? A hiperesfera está se expandindo a partir de um ponto, como um balão quadridimensional sendo inflado, criando a cada instante mais espaço no universo. Em algum tempo após a expansão ter-se iniciado, as galáxias se condensam e são carregadas na superfície da hiperesfera. Há astrônomos em cada galáxia, e a luz que eles vêem também está aprisionada na superfície curva da hiperesfera. À medida que a esfera se expande, um astro-

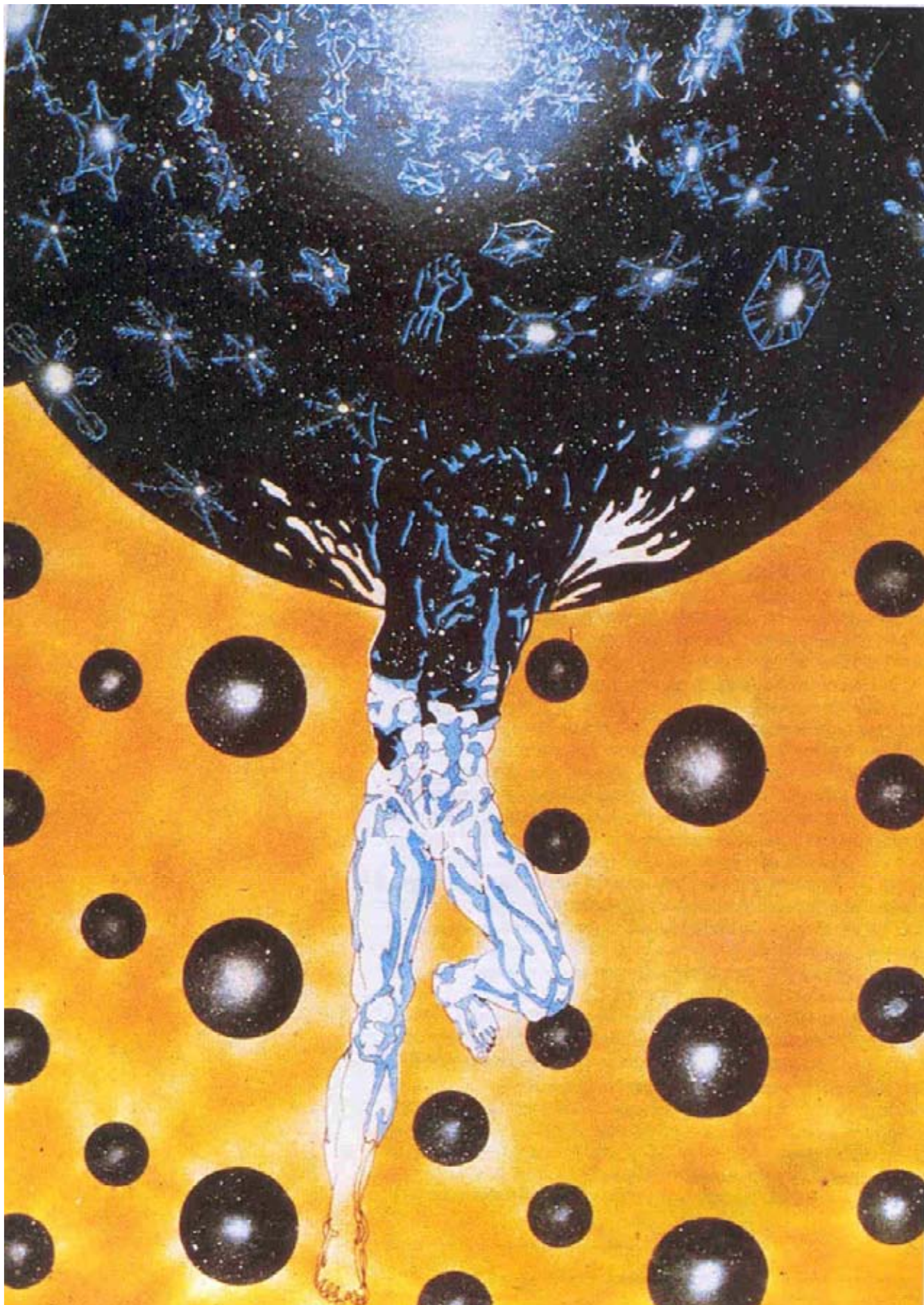
nomos em qualquer galáxia pensará que todas as outras galáxias estão se afastando dele.* Quanto mais longe a galáxia, mais rápida a sua recessão. As galáxias estão embebidas e ligadas ao espaço, e a estrutura está se expandindo. E para a pergunta onde, no universo atual, ocorreu o Big Bang, a resposta é, claramente, em todo local.

Se não houver matéria suficiente para evitar uma expansão para sempre do universo, ele deverá ter uma forma aberta, curva como uma seta, com a superfície se estendendo ao infinito em nossa analogia tridimensional. Se houver matéria suficiente terá então uma forma fechada, curva como uma esfera em nossa analogia tridimensional. Se o universo é fechado, a luz está aprisionada dentro dele. Na década de 1920, na direção oposta à M31, observadores descobriram um par distante de galáxias espirais. Seria possível, eles se perguntaram, que estivessem vendo a Via-láctea e a M31 em outra direção, como veríamos a parte de trás da nossa cabeça com a luz que circunavegou o universo? Sabemos agora que o universo é muito maior do que o imaginado em 1920. A luz leva muito mais do que uma existência do universo para percorrê-lo. E as galáxias são mais jovens do que o universo. Mas se o Cosmos é fechado e a luz não pode escapar dele, então é perfeitamente correto descrever-se o universo como um buraco negro. Se quisermos saber como é o interior de um buraco negro basta olhar à volta.

Mencionamos anteriormente a possibilidade de túneis para ir de um local no universo para outro, sem cobrir a distância interposta — através de um buraco negro. Podemos imaginar estes túneis como tubos atravessando uma quarta dimensão física. Não sabemos se estes túneis existem, mas se existirem, eles sempre se engatarão a outro local em nosso universo? Ou será possível conectarem com outros universos, locais que de outro modo seriam para sempre inacessíveis a nós? Pelo que sabemos deve haver muitos outros universos. Talvez sejam, em um sentido, aninhados um dentro do outro.

Há uma idéia — estranha, apelativa —, uma das mais estranhas conjecturas na ciência ou religião. É totalmente indemonstrável, talvez nunca seja provada. Mas é excitante. Somos informados de que existe uma hierarquia infinita de universos, de modo que uma partícula elementar, como um elétron, em nosso universo, revelaria, se penetrada, ser universo fechado e inteiro. Dentro dela, organizada no equivalente local de galáxias e estruturas menores, haveria um número imenso de outras, muitíssimo menores, partículas elementares, que são elas mesmas universos no nível seguinte, e assim por diante — uma regressão descendente infinita, universos dentro de universos, sem fim. E ascendente também. Nosso universo familiar de galáxias e estrelas, planetas e povo, seria uma única partícula elementar no próximo universo acima, o primeiro passo de outra regressão infinita.

*A visão de que o universo parece, de um modo geral, o mesmo, não importando de onde é visto, foi proposto pela primeira vez, até onde sabemos, por Giordano Bruno.



Esta é a única idéia religiosa que conheço que ultrapassa o número sem fim de universos cíclicos infinitamente antigos na cosmologia hindu. Como se parecerão estes outros universos? Serão montados sobre leis da física diferentes? Terão estrelas, galáxias e mundos, ou algo inteiramente diferente? Serão compatíveis com uma forma de vida diferente e inimaginável? Para entrar neles, teremos de alguma forma que penetrar em uma quarta dimensão física, certamente um empreendimento não muito fácil, mas talvez o buraco negro seja o caminho. Talvez existam pequenos buracos negros nas imediações solares. Suspensos no limite do eterno, poderíamos transpor...

Regressão infinita. Representação da passagem de um universo para um outro próximo e maior, em um Cosmos com uma regressão infinita de universos. Nenhum dos universos é o nosso. Criação de Jon Lomberg.



Um ser inteligente: Uma baleia-de-bico rompe a superfície da água em Frederick Sound, Alasca, no verão de 1979. Estes animais são conhecidos por seus saltos surpreendentes e sua extraordinária comunicação. Uma baleia-de-bico média pesa 50 toneladas e tem 15 metros de comprimento. Seu cérebro é muito maior do que o do ser humano. Cortesia de Dan McSweeney.



Capítulo XI

A PERSISTÊNCIA DA MEMÓRIA

Agora que os destinos do Céu e da Terra foram fixados;
Trincheiras e canais seguiram seu próprio curso;
Os bancos de areia do Tigre e do Eufrates foram estabelecidos;
Que mais poderemos fazer?
Que mais poderemos criar?
Ó Anunaki, grandes deuses de céu, o que mais poderemos fazer?
— Relato assírio da criação do Homem, 800 A.C.

Quando ele, seja que deus for, ordenou e determinou a massa caótica, reduziu-a, e dividiu então, em partes cósmicas, primeiro modelou a Terra na forma de uma bola poderosa de modo que tivesse a mesma forma em todos os lados... E", que nenhuma região ficaria sem suas próprias formas de vida animada, as estrelas e as formas divinas ocuparam o chão do céu, o mar tornou-se para os peixes que brilhavam seu lar, a Terra recebeu os animais, e o ar inconstante os pássaros... Então o Homem nasceu... ainda que todos os outros animais sejam prostrados e fixem sua contemplação na terra, ele deu ao Homem uma face elevada e ordenou-o que ficasse ereto, e dirigiu seus olhos para o céu.

— Ovídio, *Metamorfoses*, século I

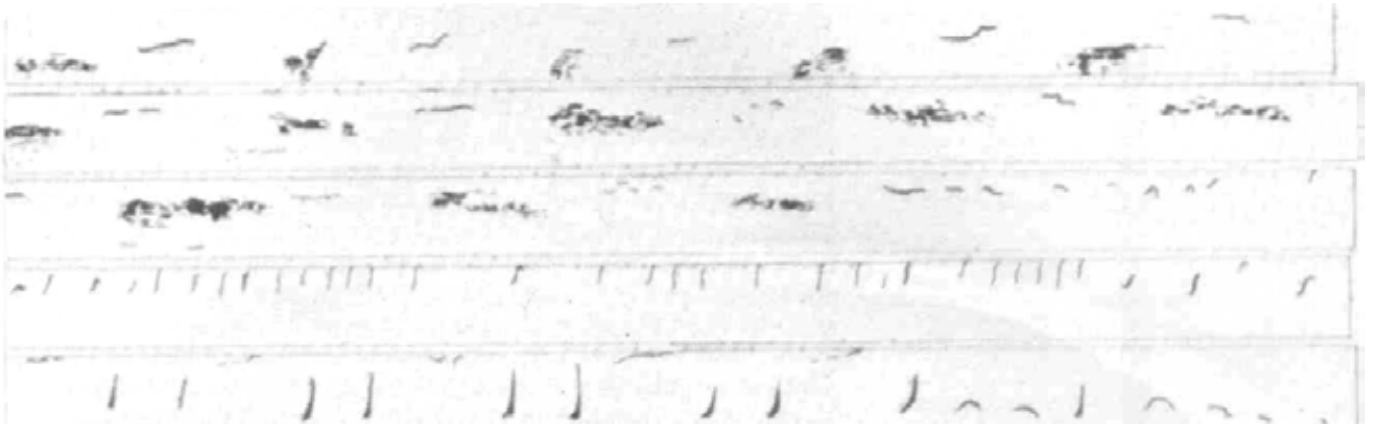
NA GRANDE ESCURIDÃO CÓSMICA HÁ incontáveis planetas e estrelas, mais jovens e mais velhos que o nosso sistema solar. Embora ainda não possamos ter certeza, o mesmo processo sofrido pela Terra para a evolução da vida e da inteligência deve estar operando no Cosmos. Deve haver um milhão de mundos, só na Via-láctea, que neste momento são habitados por seres muito diferentes de nós e bem mais avançados. Saber muito não significa ser esperto; a inteligência não é só informação, mas também julgamento, a maneira pela qual uma informação é coordenada e utilizada. A quantidade de informação a que temos acesso é uma indicação da nossa inteligência. A vareta de medição, a unidade de informação, é chamada de bit (de "binary digit" — dígito binário). É uma resposta — ou sim ou não — a uma pergunta clara. A especificação se uma lâmpada está acesa ou apagada requer um único bit de informação. Designar uma letra entre as vinte e seis no alfabeto latino requer cinco bits ($2^5 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$, que é mais de 26). O conteúdo de informação verbal deste livro é um pouco menos do que dez milhões de bits, 10^7 . O número total de bits que caracteriza um programa de televisão com uma hora de duração é de cerca de 10^{12} . A informação em palavras e desenhos de livros diferentes em todas as livrarias na Terra é algo como 10^{16} ou 10^{17} bits.* Naturalmente uma grande parte dela é redundante. Um número desses avalia cruamente o que os seres humanos sabem. Mas, em outros locais, em mundos mais antigos, onde a vida evoluiu bilhões de anos antes do que a Terra, talvez eles saibam 10^{20} bits ou 10^{30} — não somente mais informação, mas informação significativamente diferente.

Entre estes milhões de mundos habitados por inteligências avançadas, consideremos um planeta raro, o único no seu sistema com uma superfície oceânica de água líquida. Neste rico ambiente aquático, vivem muitas criaturas relativamente inteligentes, algumas com oito apêndices; outras que se comunicam entre si através de um padrão intrincado de matiz brilhante e escuro em seus corpos; e até criaturas da Terra um pouco inteligentes que fazem pequenas incursões no oceano em embarcações de madeira ou metal. Mas nós investigamos as inteligências dominantes, as maiores criaturas no planeta, os mestres sensíveis e agradáveis do oceano profundo — as baleias.

São os maiores animais** que evoluíram no planeta Terra, bem maiores do que os dinossauros. Uma baleia azul adulta pode medir trinta metros de comprimento e pesar 150 toneladas. Muitas, especialmente as baleias da Groenlândia, são oportunistas plácidas, deslizando entre grandes volumes de oceano à procura de pequenos animais com os quais se alimentam; outras comem peixe e *krill*. As baleias são um acontecimento recente no oceano. Há somente setenta milhões de anos, seus ancestrais eram mamíferos carnívoros que migraram

*Assim, todos os livros no mundo não contêm mais informação do que a transmitida no vídeo em uma única cidade americana em um único ano. Nem todos os bits têm o mesmo valor.

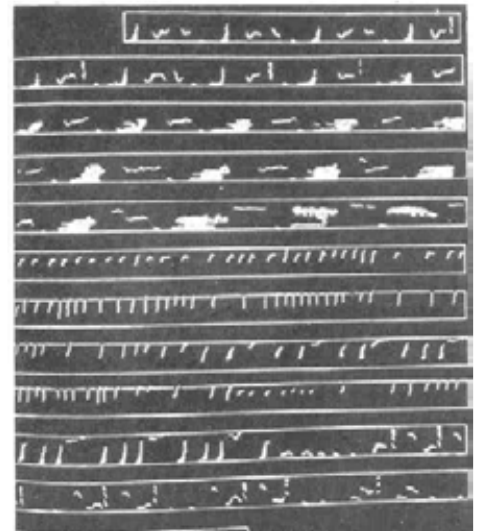
**Algumas sequóias são mais largas e mais massivas do que qualquer baleia.



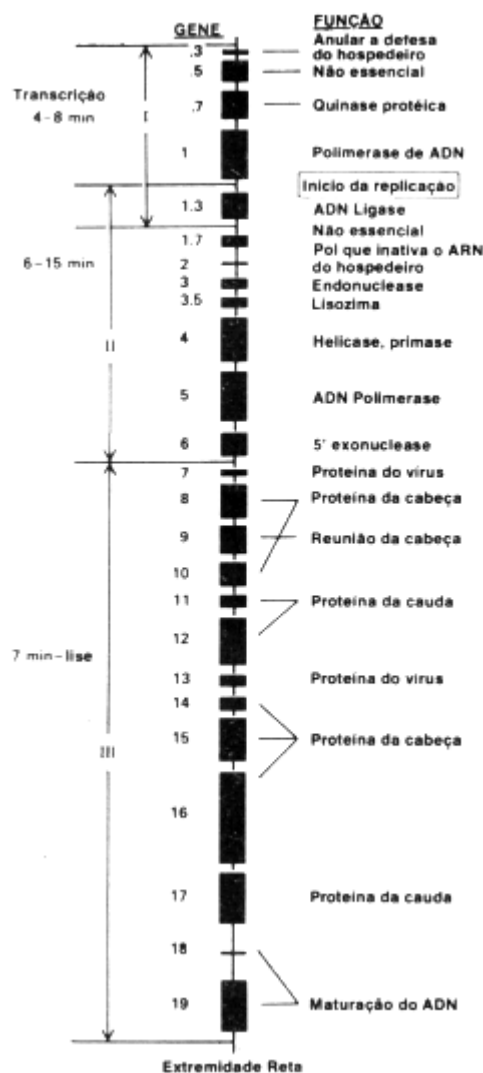
em passos lentos da terra para o mar. Entre as baleias, as mães amamentam e cuidam ternamente das suas crias. Há uma longa infância na qual os adultos "educam" as crianças. O brincar é um passatempo típico. São características dos mamíferos, todas importantes para o desenvolvimento de seres inteligentes.

O mar é sombrio. A visão e o olfato, que são mais desenvolvidos nos mamíferos terrestres, não são de grande utilidade nas profundezas do oceano. Os ancestrais das baleias que confiaram nestes sentidos para localizar um companheiro ou um bebê, ou um predador, não deixaram muitas crias. Foi aperfeiçoado um outro método pela evolução; funcionou soberbamente bem, sendo fundamental para a compreensão das baleias: o sentido da audição. Alguns sons das baleias são chamados canções, mas ignoramos ainda a sua verdadeira natureza e significado. Variam de uma faixa larga de frequências até bem abaixo do mais baixo som que o ouvido humano pode detectar. Uma canção típica de baleia dura, talvez, quinze minutos; a maior, uma hora. Cada frequência é repetida, identicamente, compasso por compasso, cadência por cadência, nota por nota. Ocasionalmente, um grupo de baleias deixa suas águas de inverno no meio de uma canção, e seis meses depois retorna e continua na nota precisamente certa, como se não tivesse havido interrupção. As baleias possuem uma ótima memória. Com maior frequência, ao seu retorno, as vocalizações se alteram. Aparecem novas músicas no *hit parade* cetáceo.

Geralmente os membros do grupo cantam as mesmas canções juntos. Por algum consenso mútuo, alguma composição colaboradora, as peças mudam mês após mês, lenta e previsivelmente. Estas vocalizações são complexas. Se as canções da baleia-de-bico forem pronunciadas como uma linguagem tonal, o conteúdo total de informação, o número de bits de informação nestas canções, é de cerca de 10^6 bits, cerca do mesmo conteúdo de informação da *Ilíada* ou da *Odisséia*. Não sabemos o que as baleias ou seus primos, os golfinhos, têm para conversar ou cantar. Não possuem órgãos para serem manipulados, não fazem construções de engenharia, mas são criaturas sociais. Caçam, nadam, pescam, alimentam-se, fazem travessuras, acasalam-se, brincam, fogem dos predadores. Há muito a se falar a respeito.



As "canções" da baleia-de-bico registradas em um espectrógrafo. Em cada linha o tempo corre horizontalmente, e a frequência sonora, das notas baixas para as altas, verticalmente. As linhas quase verticais representam glissandos, subindo na escala musical em várias oitavas. Estes registros hidrofônicos foram feitos debaixo d'água por F. Watlington no Palisa-des Sofar Station, Bermuda, em 28 de abril de 1964. O comentário de Roger Payne foi: "As músicas gravadas em 1964 e 1969 são tão diferentes quanto Beethoven [é] dos Beatles". Ele achou a música dos anos 60 mais bonita do que a dos 70. Cortesia da American Association for the Advancement of Science.



Gene de memória do vírus T7. Este único pequeno cordão de ADN, contendo perto de vinte genes, inclui tudo o que o organismo deve saber para invadir uma bactéria e se apossar inteiramente da célula hospedeira. A informação escrita em linguagem do ADN, através da sequência de nucleotídeos, inclui instruções para duplicação das suas instruções de ADN e sua estrutura protéica, e para o uso do aparelho químico da bactéria hospedeira. A célula hospedeira é convertida de uma fábrica de produção de mais bactérias em uma outra de produção de mais T7. De *DNA Replication*, de Arthur Kornberg, W. H. Freeman and Company, 1980. Copyright © 1980.

O maior perigo para as baleias é um recém-chegado, um animal superior, que só recentemente, através da tecnologia, tornou-se competente nos oceanos, uma criatura que se chama ser humano. Em 99,99% da história das baleias, não houve seres humanos sobre ou nos oceanos. Durante este período, as baleias desenvolveram seu extraordinário sistema de audiocomunicação. As baleias azuis, por exemplo, emitem sons extremamente altos a uma frequência de vinte Hertz, próximo à oitava mais baixa no teclado do piano. (Um Hertz é uma unidade de frequência de som que representa uma onda de som, uma crista e uma vala, penetrando em seu ouvido a cada segundo.) Estes sons de baixa frequência são dificilmente absorvidos no oceano. O biólogo americano Roger Payne calculou que duas baleias conseguem se comunicar utilizando o túnel de som do oceano profundo, a vinte Hertz, essencialmente em qualquer lugar do mundo. Uma pode estar na Grande Barreira de Ross, na América, e se comunicar com outra nas Aleutas. Na maior parte da sua história, as baleias devem ter estabelecido uma rede de comunicações globais. Talvez quando separadas por 15.000 quilômetros, suas vocalizações sejam canções de amor lançadas com esperança na vastidão profunda.

Por dezenas de milhões de anos, estas criaturas enormes, comunicativas e inteligentes evoluíram essencialmente, sem inimigos naturais. Então, o desenvolvimento do navio a vapor, no século XIX, introduziu uma fonte ominosa de poluição sonora. À medida que as embarcações comerciais e militares se tornaram mais abundantes, o ruído de fundo nos oceanos, especialmente a uma frequência de vinte Hertz, tornou-se perceptível. A comunicação das baleias entre os oceanos deve ter experimentado dificuldades cada vez maiores. A distância que podiam se comunicar deve ter diminuído sensivelmente. Há duzentos anos, uma distância típica em que as baleias azuis podiam se comunicar era talvez 10.000 quilômetros. Hoje o número correspondente é talvez algumas centenas de quilômetros. Será que as baleias sabem os nomes umas das outras? Poderão reconhecer umas às outras individualmente apenas pelo som? Bloqueamos as baleias. Criaturas que por dezenas de milhões de anos se comunicaram entre si foram agora efetivamente silenciadas*

E fizemos ainda pior do que isto, pois persiste o tráfico de corpos de baleias mortas. Há seres humanos que caçam, matam e comercializam os produtos decorrentes para batons e lubrificantes comerciais. Muitas nações compreendem que a matança sistemática destas criaturas inteligentes é monstruosa, mas o

*Há um curioso contraponto nesta história. O canal de rádio escolhido para a comunicação interestelar com outras civilizações técnicas é próximo da frequência de 1,42 bilhões de Hertz, marcada por uma linha espectral de rádio de hidrogênio, o átomo mais abundante no universo. Estamos somente começando a prestar atenção, aqui, a sinais de origem inteligente. Mas a faixa de frequência está tomando cada vez mais o tempo no tráfego das comunicações civis e militares na Terra, e não somente pelos poderes maiores. Estamos congestionando o canal interestelar. O crescimento descontrolado da tecnologia terrestre de rádio pode evitar uma pronta comunicação com seres inteligentes em mundos distantes. Suas canções podem permanecer sem resposta porque não conseguimos controlar nossa poluição na frequência de rádio e nem ouvi-las.

tráfico continua, estimulado principalmente pelo Japão, Noruega e União Soviética. Nós, seres humanos, como espécie, estamos interessados na comunicação com a inteligência extraterrestre. Não seria um bom começo ampliar a comunicação com a inteligência terrestre, com outros seres humanos de cultura e língua diferente, com os grandes macacos, com os golfinhos, mas particularmente com estes mestres inteligentes do fundo do mar, as grandes baleias?

Para uma baleia viver, existem muitas coisas que ela deve aprender a fazer. Este conhecimento é guardado em seus genes e no seu cérebro. A informação genética inclui como converter o plâncton em óleo de baleia ou como segurar a respiração no mergulho de um quilômetro abaixo da superfície. A informação no cérebro, a que é aprendida, inclui fatos como quem é sua mãe ou o significado da canção que estiver ouvindo agora. A baleia, como todos os outros animais na Terra, possui uma memória de genes e uma memória cerebral.

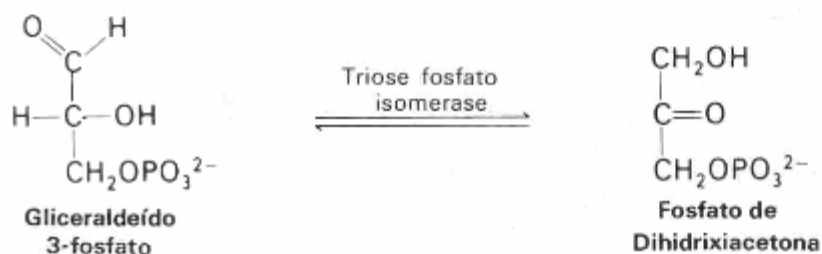
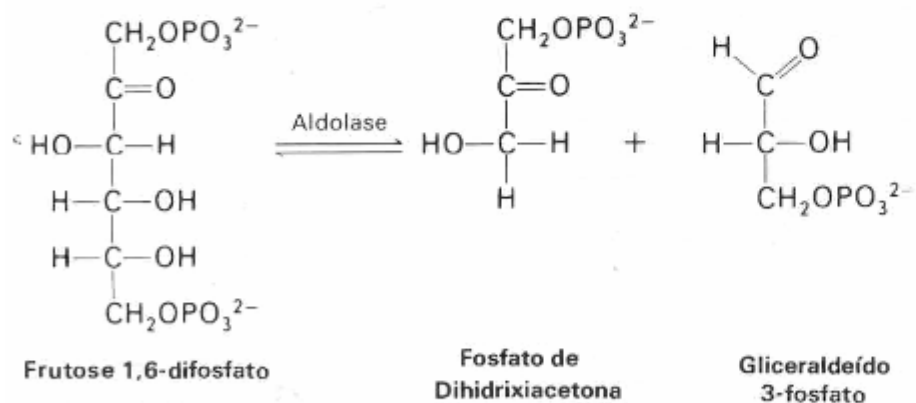
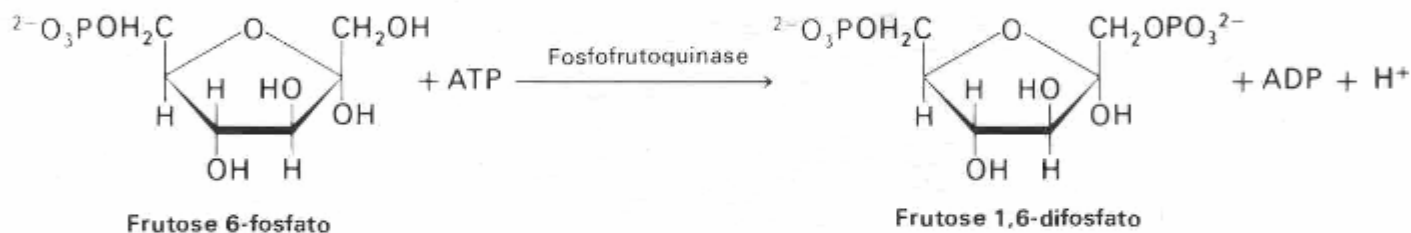
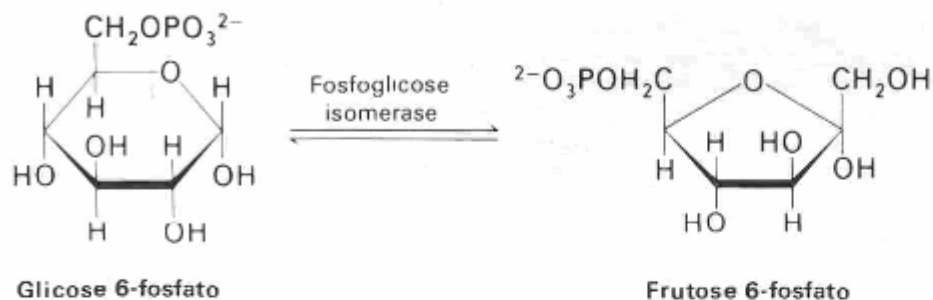
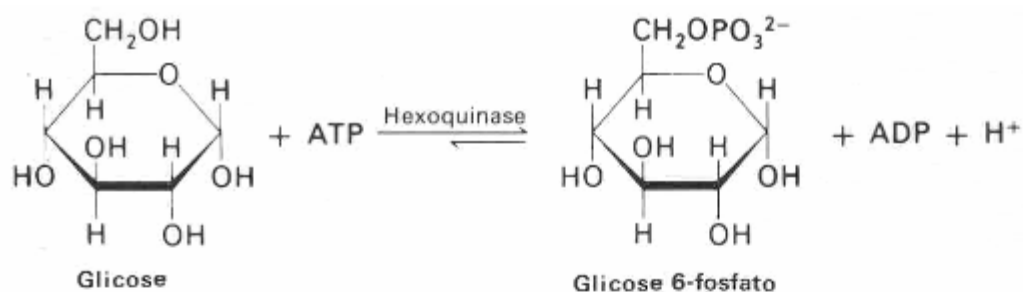
O material genético de uma baleia, como o dos seres humanos, é feito de ácidos nucleicos, estas moléculas extraordinárias, capazes de se reproduzirem a partir dos blocos de construção que as circundam, e de transformarem a informação hereditária em ação. Por exemplo, uma enzima da baleia, idêntica a uma que temos em cada célula do nosso corpo, é chamada hexoquinase, o primeiro de mais de duas dúzias de passos mediados pelas enzimas, necessários para converter a molécula de açúcar obtida do plâncton da dieta da baleia em uma pequena energia, talvez uma contribuição para uma única nota de baixa frequência na música da baleia.

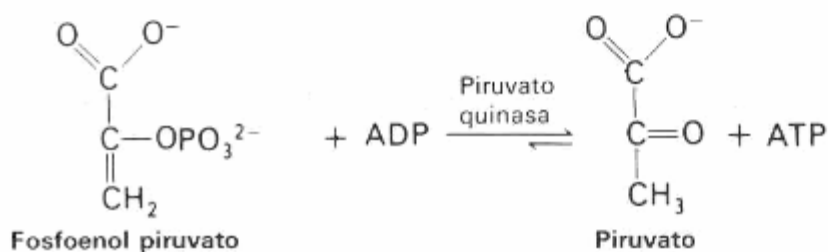
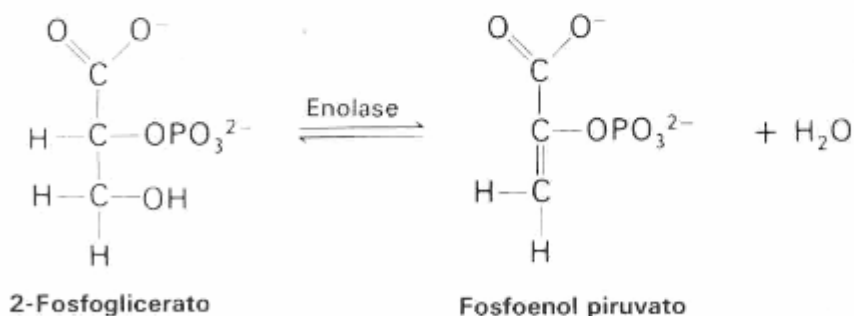
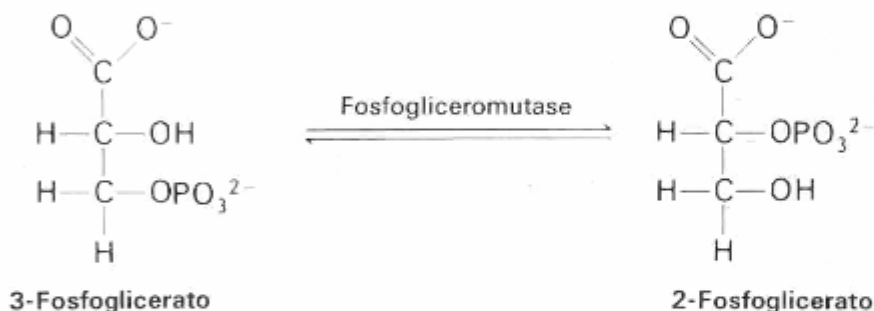
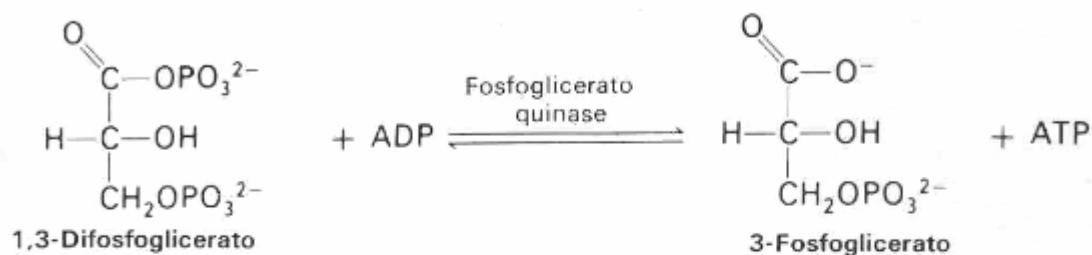
A informação armazenada na hélice dupla do ADN de uma baleia ou de um ser humano, ou qualquer outro animal grande ou vegetal na Terra é escrita em uma linguagem de quatro letras — os quatro tipos diferentes de nucleotídeos, componentes moleculares que formam o ADN. Quantos bits de informação estão contidos no material hereditário das várias formas de vida? Quantas respostas sim/não a várias perguntas biológicas estão escritas na linguagem da vida? Um vírus necessita de cerca de 10.000 bits — perto do equivalente à quantidade de informações nesta página. Mas, a informação virótica é simples, excessivamente compacta, extraordinariamente eficiente. Lê-la requer uma atenção muito concentrada. São as instruções necessárias para infectar outro organismo e se reproduzir, as únicas coisas de que os vírus são capazes. Uma bactéria utiliza perto de um milhão de bits de informação, que corresponde a cerca de 100 páginas impressas. As bactérias fazem muito mais coisas do que os vírus. Diferentes destes, elas não são parasitas completas. As bactérias devem criar uma vida. E uma ameba unicelular nadadora é muito mais sofisticada; com cerca de quatrocentos milhões de bits em seu ADN, requer oitenta volumes de quinhentas páginas para fazer uma outra ameba.

Uma baleia ou um ser humano necessita de algo como cinco bilhões de bits. O 5×10^9 bits de informação em nossa enciclopédia da vida, no núcleo de cada uma de nossas células, se escritos por exemplo em inglês, preencheria mil volumes. Cada uma de nossa centena de trilhão de células contém uma biblio-

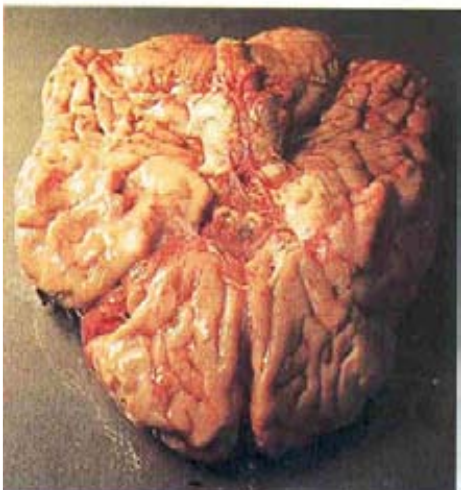


Pequena região da Biblioteca Genética de um ser humano ou de uma baleia, se disponíveis como livros comuns e não em códigos nos ácidos nucleicos. Cada título corresponde a uma série complexa de funções que os organismos desempenham com destreza sem qualquer intervenção de seus cérebros. As instruções nos genes são livros de "como fazer". Fotografado por Edwardo Castañeda.





Fração mínima de informação na memória genética: os primeiros passos na digestão da glicose. Nos hexágonos representando a glicose e o pentágono representando a frutose, cada ápice é ocupado por um átomo de carbono. A molécula com seis carbonos, a frutose 1,6-difosfato é partida em dois fragmentos de três carbonos. Cada passo químico é cuidadosamente conduzido e presidido por uma enzima específica, nomeada pelas setas. A energia para dirigir esta química elaborada é fornecida pela molécula de ATP. Duas moléculas de ATP são utilizadas e (por existirem dois fragmentos de três carbonos) resultam em quatro; há um ganho de energia. Organismos como os das baleias e dos seres humanos que respiram ar combinam então o piruvato (*abaixo à direita*) com o oxigênio, obtendo ainda mais energia. Esta bomba química elaboradamente desenvolvida dirige grande parte da vida na Terra.



teca completa de instruções de como fazer cada parte de nós. Cada célula em nosso corpo surge de divisões celulares sucessivas de uma única célula, um ovo fertilizado por nossos pais. Cada vez que uma célula se divide, nos muitos passos embriológicos que acontecem para nos formar, o grupo original de instruções genéticas é duplicado com grande fidelidade. Assim, nossas células hepáticas possuem algum conhecimento ocioso sobre como fazer células ósseas, e vice-versa. A biblioteca genética contém tudo que seu corpo sabe como fazer nele mesmo. A informação antiga é escrita em detalhes redundantes, cuidadosos e exaustivos — como rir, espirrar, andar, reconhecer padrões, reproduzir ou digerir uma maçã. Se fosse expressa na linguagem da química, as instruções para os primeiros passos na digestão do açúcar da maçã se pareceriam com o esquema às páginas 274 e 275.

Comer uma maçã é um processo extremamente complicado. Na verdade, se eu tivesse que sintetizar minhas próprias enzimas, se eu tivesse que conscientemente lembrar e dirigir todos os passos químicos necessários para retirar energia do alimento, provavelmente morreria de inanição. Até as bactérias fazem a glicólise anaeróbia, que é o porquê as maçãs apodrecem: a hora do almoço dos micróbios. Eles e nós, e todas as criaturas existentes entre as bactérias possuímos muitas instruções genéticas similares. Nossas bibliotecas genéticas separadas possuem muitas páginas em comum, outro sinal da nossa herança evolucionária comum. Nossa tecnologia pode duplicar somente uma fração mínima da intrincada bioquímica que nossos corpos executam sem esforço: somente começa-mos a estudar estes processos. A evolução, contudo, apresenta bilhões de anos de prática. O ADN sabe.

Suponhamos que o que você tivesse que fazer fosse tão complicado que mesmo vários bilhões de bits fossem insuficientes. Suponhamos que o ambiente estivesse mudando tão rápido que a enciclopédia genética pré-codificada, que servia perfeitamente bem antes, não seja mais totalmente adequada. Então, mesmo uma biblioteca genética de 1.000 volumes não seria suficiente. Eis o porquê de possuímos cérebros.

Como todos os nossos órgãos, o cérebro evoluiu, aumentando em complexidade e conteúdo de informação, por milhões de anos. Sua estrutura reflete todos os estágios pelos quais passou. O cérebro evoluiu de dentro para fora. No fundo da parte interior está a parte mais antiga, o tronco cerebral, que conduz as funções biológicas básicas, incluindo os ritmos de vida — batimento cardíaco e respiração. De acordo com uma opinião provocativa de Paul MacLean, as funções mais elevadas do cérebro evoluíram em três estágios sucessivos. Cobrindo o tronco cerebral está o complexo-R — a sede da agressão, ritual, territorialidade e hierarquia social, que evoluiu há centenas de milhões de anos em nossos ancestrais reptilianos. Bem dentro do crânio de cada um de nós há algo semelhante ao cérebro de um crocodilo. Circundando o complexo-R está o sistema límbico do cérebro mamífero, que evoluiu há dezenas de milhões de anos em ancestrais que eram mamíferos, mas ainda não primatas.

É a principal fonte de nossos humores e emoções, de nossos interesses e cuidados com os jovens.

E finalmente, no lado externo, vivendo em uma trégua agitada com o cérebro inferior mais primitivo está o córtex cerebral, que evoluiu há milhões de anos em nossos primatas ancestrais. O córtex cerebral, onde a matéria é transformada em consciência, é o ponto de embarque de todas as nossas viagens cósmicas. Compreendendo mais de dois terços da massa cerebral, é o reino da intuição e da análise crítica. É aqui que temos idéias e inspirações, aqui que lemos e escrevemos, aqui que fazemos a matemática e compomos música. O córtex regula nossa vida consciente. É a distinção da nossa espécie, a sede da nossa humanidade. A civilização é um produto do córtex cerebral.

A linguagem do cérebro não é a linguagem do ADN dos genes. Pelo contrário, o que sabemos está codificado em células chamadas neurônios, elementos comutadores eletroquímicos microscópicos, tipicamente com poucos centésimos de milímetros de diâmetro. Cada um de nós possui talvez uma centena de bilhão de neurônios, comparável ao número de estrelas na Via-láctea. Muitos neurônios possuem milhares de conexões com seus vizinhos. Há algo parecido com uma centena de trilhão, 10^{14} , destas conexões no córtex cerebral humano.

Charles Sherrington imaginou as atividades no córtex cerebral ao despertar:

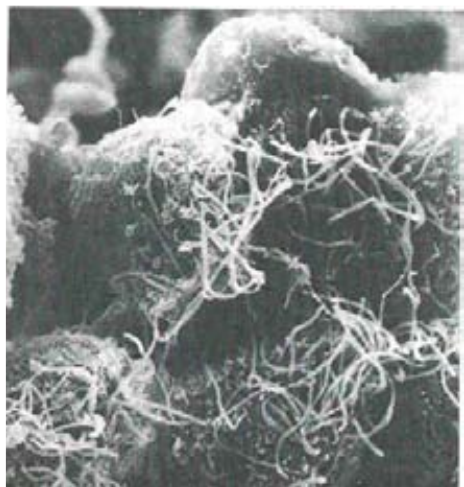
[O córtex] torna-se agora um campo cintilante de pontos brilhantes rítmicos com caudas de faíscas móveis correndo cá e lá. O cérebro está acordando e com ele a mente retorna. É como se a Via-láctea tivesse entrado em alguma dança cósmica. Rapidamente [o córtex] se torna uma miragem encantada onde milhares de lanças brilhantes tecem um padrão que se dissolve, sempre um padrão significativo, embora nunca persistente; uma harmonia variável de subpadrões. À medida que o corpo desperto se movimenta, os subpadrões desta grande harmonia de atividade se desenvolvem nas pistas apagadas do [cérebro inferior]. Fileiras de centelhas brilhantes e móveis ajustam seus elos. Isto significa que o corpo está pronto e se levanta para o encontro com o dia que se inicia.

Mesmo no sono o cérebro pulsa, vibra e cintila com as ocupações complexas da vida humana — sonhos, lembranças, cálculos. Nossos pensamentos, visões e fantasias possuem uma realidade física. Um pensamento é formado de centenas de impulsos eletroquímicos. Se nos reduzíssemos ao nível de neurônios, testemunharíamos padrões elaborados, intrincados e evanescentes. Um deve ser a centelha da memória do cheiro de lilases em um caminho no campo da infância. Outro, parte de uma relação em geral ansiosa: "Onde deixei as chaves?"

Há muitos vales nas montanhas da mente, circunvoluções que aumentam muito a área da superfície disponível no córtex cerebral para armazenagem de informação em um crânio de tamanho limitado. A neuroquímica do cérebro é estonteante-



A biblioteca que é o cérebro: três visões do cérebro humano, no qual talvez uma centena de trilhão de bits de informação está colocada em uma massa de cerca de 1400 gramas. [Bit: menor unidade possível de informação (N. da T.)]. A fotografia ao alto na página oposta mostra os dois hemisférios do córtex cerebral conectados por um largo feixe de fibras nervosas. As circunvoluções no córtex cerebral servem para aumentar a área da superfície cerebral, mantendo um volume fixo. Abaixo temos uma visão da base do cérebro humano. O córtex cerebral ocupa uma parte tão grande do cérebro, que uma porção dele é visível mesmo deste ângulo — porção dos lobos frontal e temporal na parte superior da foto. Os componentes cerebrais, principalmente visíveis aqui, são os mais primitivos — os que controlam o batimento cardíaco, temperatura corporal, tato, dor e mecanismos semelhantes. Nesta página temos uma visão oblíqua. Mesmo neste ângulo, o complexo R — que circunda o tronco cerebral — e o sistema límbico estão em sua maior parte escondidos no interior do cérebro. Fotografias das pesquisas de Fried, Paul e Scheibel. Fotografado por Peter Duong. Cortesia de Arnold Scheibel, Brain Research Institute, UCLA.



Um aglomerado de neurônios no tronco cerebral humano. A ampliação desta fotomicrografia eletrônica de varredura é de 15.000 vezes. Nestas conexões neurais a memória cerebral é armazenada, processada e atingida. Fotografias das pesquisas de Fried, Paul e Scheibel. Fotografado por Peter Duong. Cortesia de Arnold Scheibel, Brain Research Institute, UCLA.

mente movimentada, circuito de uma máquina muito mais poderosa do que qualquer outra idealizada pelo homem, mas não há nenhuma evidência de que seu funcionamento seja decorrente de mais de 10^{14} conexões neurais que constroem a arquitetura elegante da consciência. O mundo do pensamento é dividido em dois hemisférios. O hemisfério direito do córtex cerebral é responsável principalmente pelo reconhecimento de padrões, intuição, sensibilidade e *insights* criativos. O hemisfério esquerdo preside o pensamento racional, analítico e crítico. São os poderes duais, os opostos essenciais, que caracterizam o pensamento humano. Juntos provêm os meios para gerar idéias e testar sua validade. Há um diálogo contínuo entre os dois hemisférios através de um imenso feixe de nervos, o corpo caloso, a ponte entre a criatividade e a análise, ambas necessárias à compreensão do mundo.

O conteúdo de informação do cérebro humano expresso em bits é provavelmente comparável ao número de conexões entre os neurônios, cerca de cem trilhões, 10^{14} , de bits. Se escritas, por exemplo em inglês, estas informações preencheriam cerca de vinte milhões de volumes, tantos quantos os existentes nas maiores bibliotecas do mundo. O equivalente a vinte milhões de livros está dentro da cabeça de cada um de nós.

O cérebro é um local muito grande em um espaço muito pequeno. A maioria dos livros no cérebro está no córtex cerebral. Na base, estão as funções de que nossos ancestrais remotos dependiam mais: agressão, criação das crianças, medo, sexo, prontidão em seguir, cegamente, os líderes. Das funções cerebrais superiores, algumas— ler, escrever e falar — parecem estar localizadas em áreas particularmente no córtex cerebral. A memória, por sua vez, está armazenada redundantemente em muitos locais. Se a telepatia realmente existe, uma das suas glórias seria a oportunidade de cada um de nós ler os livros nos córtex cerebrais de nossos seres amados. Não existem evidências que comprovem a telepatia, e a comunicação deste tipo de informação permanece como tarefa de artistas e escritores.

O cérebro faz muito mais do que recolher? Ele compara, sintetiza, analisa e gera abstrações. Devemos calcular muito mais do que nossos genes podem saber. É o porquê da nossa biblioteca cerebral ser cerca de dez mil vezes maior do que a genética. Nossa paixão pelo saber, evidente no comportamento de qualquer criança que começa a andar, é o instrumento da nossa sobrevivência. As emoções e os padrões de comportamento ritualizados estão profundamente enraizados dentro de nós. São parte da nossa humanidade, embora não sejam *caracteristicamente* humanos. Muitos outros animais possuem sentimentos. O que distingue a nossa espécie é o pensamento. O córtex cerebral é uma liberação. Não necessitamos mais ser aprisionados nos padrões de comportamento geneticamente herdados de lagartos e babuínos. Somos, cada um de nós, amplamente responsáveis pelo que é colocado dentro de nossos cérebros, para que, como adultos, o acalentemos e saibamos sobre isto. Não mais à mercê do cérebro de réptil, podemos mudar a nós próprios.

A maioria das grandes cidades do mundo cresceu ao acaso, pouco a pouco, em respeito às necessidades do movimento; muito raramente uma cidade é planejada para um futuro remoto. A evolução de uma cidade é como a evolução de um cérebro: desenvolveu de um pequeno centro, crescendo e se alterando lentamente, deixando muitas partes antigas ainda em funcionamento. Não há meio de a evolução separar o interior antigo do cérebro pelas suas imperfeições e substituí-lo por uma peça mais moderna. O cérebro deve funcionar durante a renovação. É o porquê do tronco cerebral ser circundado pelo complexo-R, depois pelo sistema límbico e, finalmente, pelo córtex cerebral. As partes antigas são responsáveis por muitas funções fundamentais para serem todas substituídas. Elas sobrevivem com dificuldade, são ultrapassadas e, algumas vezes, contraproduativas, mas uma consequência necessária da nossa evolução.

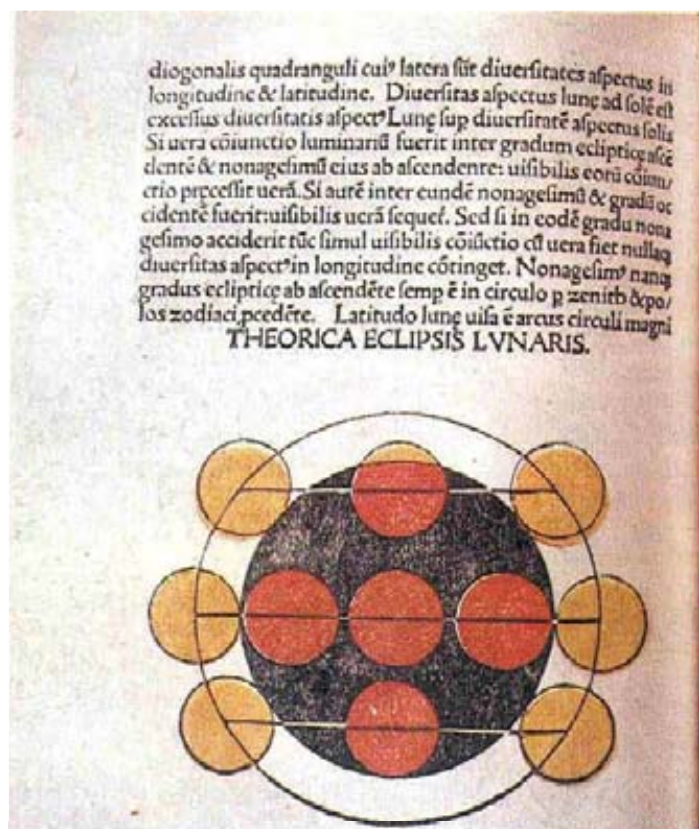
Na cidade de Nova Iorque, a disposição de muitas das principais ruas data do século XVII; os armazéns, do século XVIII; o abastecimento hidráulico, do XIX; e o sistema de luz e força, do XX. A disposição seria mais eficiente se todos os sistemas cívicos fossem construídos em paralelo e restabelecidos periodicamente (este o porquê de incêndios devastadores — as grandes conflagrações de Londres e Chicago, por exemplo — serem algumas vezes um auxílio no planejamento de uma cidade). Mas o acréscimo lento de novas funções permite à cidade trabalhar mais ou menos de modo contínuo através dos séculos. No século XVII viajava-se de Brooklyn a Manhattan pelo East River de barco. No XIX, a tecnologia tornou possível a construção de uma ponte suspensa sobre o rio. Foi construída precisamente no local do terminal das barcas, tanto porque a cidade ganhou a terra, como também porque as principais vias públicas já convergiam para o serviço preexistente. Mais tarde, quando foi possível construir um túnel sob o rio, também este foi construído no mesmo local pelas mesmas razões, e também porque pequenos precursores abandonados dos túneis, chamados *caissons*, já tinham sido embasados durante a construção da ponte. Este uso e reconstrução de sistemas prévios para novos propósitos é muito parecido com os padrões da evolução biológica.

Quando os nossos genes não conseguem armazenar toda a informação necessária para a sobrevivência, lentamente inventamos cérebros. Então veio o tempo, talvez há dez mil anos, quando necessitávamos saber mais do que podia ser convenientemente contido nos cérebros, e aprendemos a estocar quantidades enormes de informação fora dos nossos corpos. Somos a única espécie no planeta, até onde sabemos, a ter inventado uma memória comunal armazenada fora dos genes e do cérebro. O armazém desta memória é chamado biblioteca.

Um livro é feito de uma árvore. É uma reunião de partes flexíveis e chatas (ainda chamadas de "folhas") impressas com tipos pigmentados. Uma vista rápida nelas e ouviremos a voz de outra pessoa, talvez morta há milhares de anos. Através dos milênios, o autor fala, clara e silenciosamente, dentro da nossa cabeça, direto para nós. A escrita é talvez a maior das invenções

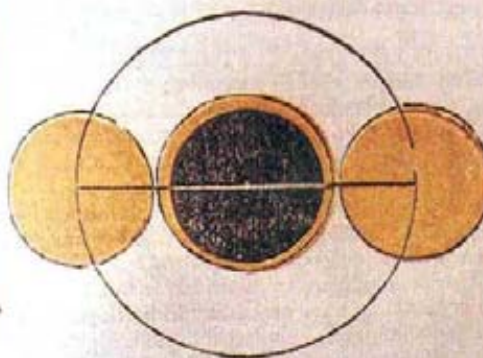


A constelação do Camelo. Do *Abd al-Rahman al Sufi al Kitab al-Kawakib Wa's Suwar Razi* ("O Livro das Estrelas e das Constelações"), Pérsia, 1632. Cortesia da Spencer Collection, The New York Public Library, Astor, Lenox and Tilden Foundations.



p̄ polos zodiaci & locū lune uerū aut uisū transeūtis inter eclipticā & circulū sibi equidistantē incedentē p̄ locū uisum inter ceptas. Digiti ecliptici dicuntur duodecimę diametri corpis solis aut lunaris eclipticę. Minuta casus i eclipsi lunari sūt minuta zodiaci quę luna pambulat solē supando a principio eclipsos usq; ad mediū eius: si particularis fuerit: aut uniuersalis si ne mora. uel a principio usq; ad initium totalis obscurationis si uniuersalis cū mora fuerit. Minuta more dimidię sūt minuta zodiaci quę luna solē supando a principio totalis obscuratiōis usq; ad mediū eius pambulat. Minuta casus in eclipsi solari sūt minuta quę luna a principio eclipsis usq; ad mediū fugatiōis

THEORICA ECLIPSIS SOLARIS.



Quatro registros antigos para o acervo humano. Ao alto, duas páginas do *Sphaera Mundi*, de Joannes de Sacro Bosco. Publicado por Erhard Ratdolt, Veneza, 1485. A origem dos eclipses lunar e solar está sendo discutida. Na página seguinte, ao lado, a ascensão de Mohammed on Buraq. Do manuscrito turco do século XVII, *Daver Siyar-e Nabi* ("A vida do Profeta"), de Mustapha ibn Yusuf. Abaixo, uma ilustração da cosmologia e cosmografia jainistas em tecido. Publicada em Gujarat, Índia, século XVI. Página seguinte, embaixo, a constelação de Aquário, o transportador de água. Do *De Sideribus Tractatus*, de Caius Hygnius, Itália, em torno de 1450. Todos os livros foram cortesia da Spencer Collection, the New York Public Library, Astor, Lenox and Tilden Foundations.

humanas, unindo pessoas, cidadãos de épocas distantes que nunca se conheceram. Os livros são as cadeias do tempo, a prova de que os seres humanos podem fabricar a mágica.

Alguns dos primeiros autores escreveram na argila. A escrita cuneiforme, o ancestral remoto do alfabeto do Ocidente, foi inventado no Oriente Próximo há cerca de 5.000 anos. Seu propósito era manter os registros: compra de cereais, venda de terra, triunfos do rei, estatutos dos sacerdotes, posição das estrelas, as preces aos deuses. Por milhares de anos, a escrita foi esculpida na argila e na pedra, riscada na cera, cortiça ou no couro; pintada no bambu, papiro ou seda, mas somente uma cópia de cada vez, e, exceto pelas inscrições em monumentos, lida por pouquíssimos leitores. Então, na China, entre os séculos II e VI, o papel, a tinta e a imprensa, com blocos de madeira esculpidos, foram inventados, permitindo a confecção de várias cópias de um trabalho e a distribuição do mesmo. Passaram-se mil anos até a idéia sair da sua origem e chegar à Europa. Então, subitamente, livros foram impressos em todo o mundo. Pouco antes da invenção do tipo móvel, em torno de 1450, não havia mais do que algumas dezenas de milhares de livros em toda a Europa, todos escritos à mão; cerca da mesma quantidade que a China no ano 100 A.C. e um décimo da Grande Biblioteca de Alexandria. Cinquenta anos mais tarde, em 1500, havia dez milhões de livros impressos. Aprender tornou-se possível para quem soubesse ler. A mágica estava difundida.

Mais recentemente, livros, especialmente brochuras, foram impressos em edições maciças e baratas. Pelo preço de uma refeição modesta, podemos considerar o declínio e a queda do império romano, a origem das espécies, a interpretação de sonhos, a natureza das coisas. Livros são como sementes. Podem permanecer adormecidas por séculos e então florescer em solos os menos promissores.

As grandes bibliotecas do mundo contêm milhões de volumes, o equivalente a cerca de 10^{14} bits de informação em palavras, e talvez 10^{15} em desenhos. Isto corresponde a dez mil vezes mais informação do que em nossos genes e dez vezes mais do que em nossos cérebros. Se eu terminar um livro por semana, lerei somente alguns milhares de livros durante a minha vida, cerca de um décimo por cento do conteúdo das maiores bibliotecas da nossa época. O artifício está em saber quais os livros a serem lidos. A informação nos livros não é pré-programada no início, mas constantemente alterada, emendada pelos eventos, adaptada ao mundo. Decorreram vinte e três séculos desde a fundação da Biblioteca de Alexandria. Se não existissem livros nem registros escritos, como seria este tempo prodigioso? Com quatro gerações por século, vinte e três séculos ocupam quase cem gerações de seres humanos. Se a informação passasse somente através da linguagem oral pouco saberíamos do nosso passado e o nosso progresso seria lento. Tudo dependeria das descobertas antigas contadas acidentalmente a nós e da precisão do relato. A informação do passado deve ser reverenciada, mas os relatos sucessivos tornar-se-iam progressivamente confusos e eventualmente perdidos. Os livros permitem-nos viajar pelo tempo e





Duas páginas de um manuscrito Thai, do século XIX, sobre astrologia e astronomia. Cortesia da Spencer Collection, the New York Public Library, Astor, Lenox and Tilden Foundations.

extrair o conhecimento dos nossos antepassados. As bibliotecas nos unem a revelações e conhecimentos dolorosamente extraídos da Natureza, das maiores mentes que já existiram, com os melhores professores, retiradas de todo o planeta e de toda a nossa história, instruem-nos sem a fadiga e nos inspiraram a dar nossa própria contribuição ao conhecimento coletivo da espécie humana. As bibliotecas públicas dependem de contribuições voluntárias. Penso que a sanidade da nossa civilização, a profundidade do nosso conhecimento sobre os alicerces da nossa cultura e nossos conceitos sobre o futuro podem todos ser testados pela sustentação que despendemos às nossas bibliotecas. Se a Terra tivesse que iniciar tudo novamente com todas as características físicas idênticas, seria extremamente improvável que algo que lembrasse um pouco um ser humano jamais emergisse de novo. Há uma característica fortuita poderosa no processo evolucionário. Um raio cósmico atingindo um gene diferente, produzindo uma mutação diferente, pode apresentar consequências pequenas no início, mas profundas posteriormente. O acaso pode desempenhar um papel importante na biologia, bem como na história. Quanto mais anteriores os eventos críticos ocorreram, com mais poder puderam influenciar o presente.

Por exemplo, consideremos nossas mãos. Temos cinco dedos, incluindo um polegar em oposição. Eles nos servem muito. Penso que seríamos igualmente bem servidos com seis dedos incluindo um polegar, ou quatro dedos incluindo um polegar, ou cinco dedos e dois polegares. Não há nada intrinsecamente melhor sobre a configuração particular dos dedos, que geralmente pensamos como natural e inevitável. Temos cinco dedos porque somos descendentes de um peixe devoniano que possuía cinco falanges ou ossos em suas barbatanas. Se tivéssemos descendido de um peixe com quatro ou seis falanges, teríamos quatro ou seis dedos em cada mão e acharíamos perfeitamente natural. Utilizamos a base dez na aritmética somente porque temos dez dedos em ambas as mãos.* Se tivesse sido diferente, utilizaríamos a base oito ou doze e teríamos a base dez para a Nova Matemática. Os mesmos princípios se aplicam, acredito, a aspectos muito mais essenciais do nosso corpo — nosso material hereditário, nossa bioquímica interna, nossa forma, estatura, sistemas, amores e ódios, paixões e desesperos, ternura e agressão, até nossos processos analíticos — todos são, pelo menos em parte, o resultado de acidentes aparentemente menores em nossa história evolucionária imensamente longa. Talvez se pelo menos uma libélula tivesse se afogado nos pântanos carboníferos, os organismos inteligentes de hoje em nosso planeta teriam asas e ensinariam suas crianças em viveiros. O padrão da casualidade evolucionária é uma teia de complexidade estonteante. A imperfeição da nossa compreensão nos humilha.

* A aritmética baseada no número 5 ou 10 parece tão óbvia que o antigo equivalente grego de "contar" significa, literalmente, "cincar".

Há sessenta e cinco milhões de anos, nossos antepassados eram os menos possessivos dos mamíferos — criaturas com o tamanho e a inteligência de topeiras ou mussaranhos. Foi pre-ciso um biólogo muito audacioso para conjecturar que estes animais produziram eventualmente a linha que hoje domina o planeta. A Terra era então cheia de lagartos medonhos e pavo-rosos — os dinossauros, criaturas muito bem-sucedidas, que preenchiam virtualmente cada nicho ecológico. Eram répteis aquáticos, répteis aéreos e répteis — alguns altos como edifícios de seis andares — "trovejando" na superfície da Terra. Alguns deles tinham cérebros bem grandes, postura ereta e duas pequenas pernas dianteiras, parecidas com mãos, que usavam para pegar pequenos mamíferos velozes — incluindo, provavelmente, nossos distantes ancestrais — para o jantar. Se estes dinossauros tivessem sobrevivido, talvez a espécie inteligente dominante em nosso planeta hoje em dia tivesse quatro metros de altura com pele verde e dentes afiados, e a forma humana seria considerada uma fantasia triste de ficção científica sauriana. Mas os dinossauros não sobreviveram. Em um evento catastrófico, todos eles e muitas, talvez a maioria, das outras espécies na Terra foram destruídas.* Mas não os mussaranhos. Nem os mamíferos. Eles sobreviveram.

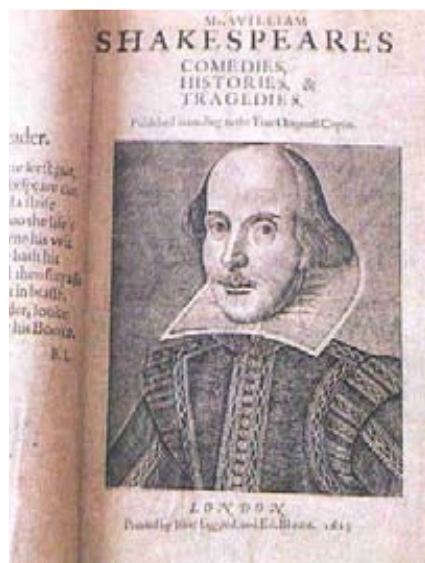
Ninguém sabe o que acabou com os dinossauros. Uma idéia evocativa é que houve uma catástrofe cósmica, a explosão em supernova próxima, uma supernova como a que produziu a Nebulosa de Caranguejo. Se houve uma supernova por acaso a dez ou vinte anos-luz do sistema solar há sessenta e cinco milhões de anos, deve ter espalhado um fluxo intenso de raios cósmicos no espaço, e alguns deles penetrando no envoltório de ar terrestre teriam queimado o nitrogênio atmosférico. Os óxidos de nitrogênio gerados teriam removido a camada de ozônio protetora da atmosfera, aumentando o fluxo de radiação ultravioleta solar na superfície, frigindo e alterando muitos organismos imperfeitamente protegidos contra a intensa luz violeta. Alguns destes organismos devem ter sido parte da dieta dos dinossauros.

O desastre, qualquer que tenha sido, que retirou os dinossauros do mundo, removeu a pressão sobre os mamíferos. Nossos ancestrais não tiveram mais que viver na sombra dos répteis vorazes. Diversificamos exuberantemente e floresce-mos. Há vinte milhões de anos, nossos ancestrais imediatos provavelmente ainda viviam em árvores, descendo mais tarde porque as florestas retrocederam durante a era glacial e foram substituídas pelas savanas. Não é muito bom estar bem adaptado a uma vida nas árvores se não há muitas. Muitos primatas arborícolas pereceram com as florestas. Poucos mantiveram uma existência precária no solo e sobreviveram. E uma dessas linhas evoluiu até o que somos. Ninguém sabe a causa desta alteração climática. Talvez tenha sido uma pequena variação na luminosidade intrínseca



A constelação de Câncer, no *Coelum Stellatum Christianum Concauum*, de Julius Schiller (páginas -). Este livro, publicado no Mosteiro Augusta Vindelicorum, na Alemanha, em 1627, foi uma tentativa fracassada de acabar com a mitologia "pagã" nos céus. Aqui o autor substituiu a figura do Caranguejo por São João Evangelista. Cortesia da Spencer Collection, the New York Public Library, Astor, Lenox and Tilden Foundations.

* Uma análise recente sugere que 96% de todas as espécies nos oceanos devem ter perecido nesta época. Com um ritmo de extinção tão grande, os organismos de hoje podem ter evoluído de somente uma pequena e não-representativa amostra de organismos que viveram nos últimos tempos mesozóicos.



Frontispício das Obras de Shakespeare, publicadas em Londres, em 1623. Cortesia da Rare Book Division, the New York Public Library, Astor, Lenox and Tilden Foundations.



Calendário astrológico palintangatã indonésio, impresso em linho, em Bali, no século XIX. Cortesia da Spencer Collection, the New York Public Library, Astor, Lenox and Tilden Foundations.

do Sol ou na órbita da Terra, ou maciças erupções vulcânicas injetando poeira fina na estratosfera, refletindo mais luz solar de volta para o espaço e resfriando a Terra. Pode ter sido devido a alterações na circulação geral dos oceanos. Ou talvez a passagem do Sol por uma nuvem de poeira galáctica. Qualquer que tenha sido, vemos agora como nossa existência está ligada ao acaso astronômico e eventos geológicos.

Após termos descido das árvores, evoluímos para uma postura ereta, nossas mãos ficaram livres; possuímos uma visão binocular excelente — adquirimos muitas das pré-condições para fazer ferramentas. Existe agora uma vantagem real na posse de um cérebro grande e na comunicação de pensamentos cósmicos. É melhor ser esperto do que ser estúpido. Os seres inteligentes podem resolver melhor os problemas, viver mais e deixar mais descendentes; até a invenção das armas nucleares, a inteligência ajudou de forma definitiva a sobrevivência. Em nossa história foi alguma horda de pequenos mamíferos furiosos que se escondeu dos dinossauros, colonizou os topos das árvores e mais tarde fugiu para o solo domesticando o fogo, inventou a escrita, construiu observatórios e lançou veículos espaciais. Se os fatos tivessem sido um pouco diferentes, teria sido outra criatura cuja inteligência e habilidade manipulativa teriam conduzido a realizações comparáveis. Talvez o dinossauro bípede esperto, ou guaxinins, ou lontras ou lulas. É interessante saber que poderiam ter sido outras inteligências diferentes, por isso estudamos as baleias e os grandes macacos. Para aprender um pouco sobre que outros tipos de civilização são possíveis, podemos estudar história e antropologia cultural. Mas somos todos, baleias, macacos, pessoas, intimamente relacionados. Enquanto nossas indagações estiverem limitadas a uma ou duas linhas evolucionárias em um único planeta, permaneceremos para sempre ignorantes da extensão possível e brilho de outras inteligências e outras civilizações.

Em outro planeta, com uma sequência diferente de processos casuais que formam a diversidade hereditária e um ambiente diferente para selecionar as combinações particulares de genes, as probabilidades de se encontrar seres fisicamente muito semelhantes a nós, eu acredito, são próximas ao zero, mas as chances de encontrar outra forma de inteligência, não. Seus cérebros podem ter evoluído de dentro para fora. Podem ter elementos comutadores análogos aos nossos neurônios. Mas os neurônios talvez sejam bem diferentes, supercondutores que trabalham a temperaturas muito baixas, mais apropriados do que artifícios orgânicos que trabalham a temperatura ambiente, neste caso sua velocidade de pensamento seria 10^7 vezes mais rápida que a nossa. Ou talvez o equivalente aos neurônios em outro local não esteja em contato físico direto, mas em radiocomunicação, de modo que um único ser inteligente poderia ser distribuído entre muitos organismos diferentes, ou até entre planetas diferentes, cada um com uma parte da inteligência do todo, cada um contribuindo pelo rádio para uma inteligência bem



maior do que a dele próprio.* Deve existir planetas onde os seres inteligentes possuem cerca de 10^{14} conexões neurais, como nós. Pergunto-me o que saberão. Por habitarmos o mesmo universo, nós e eles devemos partilhar de alguma informação substancial em comum. Se conseguirmos estabelecer contato, deverá haver muito em seus cérebros de grande interesse para os nossos. Mas o oposto também é verdadeiro. Penso que a inteligência extraterrestre — até de seres substancialmente mais evoluídos que nós — esteja interessada em nós, no que sabemos, como pensamos, como são nossos cérebros, o curso da nossa evolução, as perspectivas do nosso futuro.

Se existem seres inteligentes em planetas de estrelas razoavelmente próximas, poderão saber de nós? Poderão de alguma forma ter um indício da longa progressão evolucionária dos genes para cérebros e bibliotecas que ocorreu no obscuro planeta Terra? Se os extraterrestres permanecerem em casa, há pelo menos duas maneiras pelas quais podem nos descobrir. Uma maneira seria ouvir com grandes radiotelescópios. Por bilhões de anos, devem ter ouvido somente uma estática fraca e intermitente causada pelos relâmpagos e pelos elétrons e prótons aprisionados assobiando no campo magnético da Terra. Então, há menos de um século, as ondas de rádio, partindo da Terra, tornaram-se mais fortes, mais altas, parecendo-se menos com ruído e mais com sinais. Os habitantes da Terra finalmente tinham encontrado a radiocomunicação. Hoje em dia, há um vasto tráfego de comunicações pela rádio internacional, televisão e radar. Em algumas frequências de rádio, a Terra tornou-se, sem dúvida, o objeto mais brilhante, a mais poderosa fonte de rádio no sistema solar — mais brilhante do que Júpiter e do que o Sol. Uma civilização extraterrestre monitorizando uma emissão de rádio da Terra e recebendo os sinais não poderia deixar de concluir que algo interessante está acontecendo ultimamente por aqui.

A morte dos dinossauros. Em uma das hipóteses astronômicas, a extinção foi consequência de uma explosão em supernova próxima, retratada nesta criação de Don Davis, no céu, acima à direita. Em outra, um grande asteróide atingiu a Terra; os tênues debrís do impacto persistem na estratosfera, reduzem a luz solar disponível para as plantas que os dinossauros comem e esfriam a Terra. Em centenas de milhões de anos, ambos os eventos devem ter ocorrido pelo menos uma vez. A extinção dos répteis bípedes inteligentes esclareceu um estágio de evolução dos mamíferos e dos seres humanos.

* De alguma forma, esta radiointegração de indivíduos separados já está começando a acontecer no planeta Terra.

À medida que a Terra gira, nossos mais possantes transmissores de rádio varrem lentamente o céu. Um radioastrônomo de um outro planeta, de outra estrela seria capaz de calcular o comprimento do dia da Terra pelos tempos de aparecimento e desaparecimento dos nossos sinais. Algumas das nossas fontes mais potentes são os transmissores de radar; poucos são utilizados na astronomia de radar, para sondar as superfícies dos planetas próximos. O tamanho do feixe do radar projetado contra o céu é muito maior do que o tamanho dos planetas, e muitos dos sinais saem do sistema solar, nas profundezas do espaço interestelar, para qualquer receptor sensível que possa estar na escuta. A maioria dos transmissores de radar é para fins militares; vasculham os céus com um medo constante de um lançamento maciço de mísseis nucleares, um augúrio quinze minutos antes do fim da civilização humana. O conteúdo de informação destas vibrações é desprezível: uma sucessão de simples padrões numéricos codificados em bips.

Acima de todas, a fonte de radiotransmissores mais penetrante e notável da Terra é a nossa programação de televisão. Uma vez que a Terra gira, algumas estações de TV aparecerão em um horizonte da Terra, enquanto outras desaparecem no outro. Haverá uma mistura confusa de programas. Mesmo estes terão que ser classificados e reunidos por uma civilização avançada em um planeta de uma estrela próxima. As mensagens mais freqüentemente repetidas serão sinais de chamada de estação e apelos para compra de detergentes, desodorantes, remédios para dor de cabeça e produtos para automóvel e combustível. As mensagens mais notáveis serão as difundidas simultaneamente por muitos transmissores em muitas zonas de tempo — por exemplo, discursos em tempos de crises internacionais pelo Presidente dos Estados Unidos ou pelo Premier da União Soviética. As chamadas negligentes da televisão comercial e os tegumentos da crise internacional e a guerra sanguinária na família humana são as principais mensagens sobre a vida na Terra que escolhemos para transmitir ao Cosmos. O que devem pensar de nós?

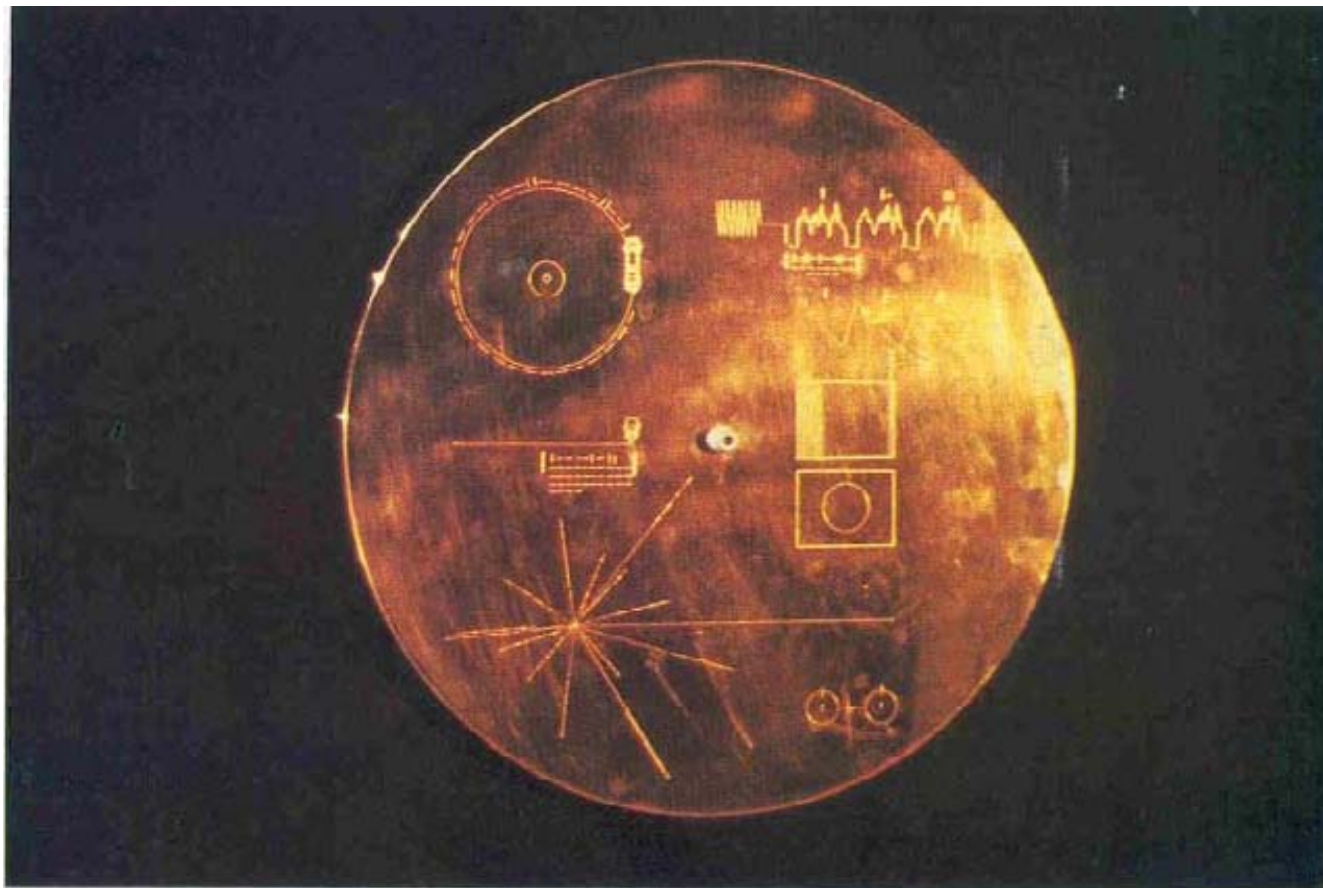
Não há como chamar de volta estes programas de televisão. Não há como enviar uma mensagem mais rápida para sobrepujá-los e rever a transmissão anterior. Nada pode viajar mais rápido do que a luz. A transmissão de televisão em grande escala no planeta Terra começou somente no final da década de 1940. Assim, há uma frente de onda esférica centrada na Terra expandindo com a velocidade da luz e contendo o Howdy Doody, o discurso "Checkers" do então Vice-Presidente Richard M. Nixon e as inquisições do Senador Joseph McCarthy. Por estas transmissões terem sido transmitidas há algumas décadas, elas estão somente a algumas dezenas de anos-luz da Terra. Se a civilização mais próxima estiver mais longe do que esta distância, poderemos continuar a respirar com facilidade. De qualquer maneira, esperamos que achem esses programas incompreensíveis.

As duas espaçonaves Voyager estão destinadas às estrelas. Fixado em cada uma, está um disco gravado de cobre banhado a ouro com um cartucho e um estilete, e, na cobertura de registro

de alumínio, instruções para seu uso. Enviamos algumas informações sobre nossos genes, cérebros e bibliotecas para outros seres que naveguem no mar do espaço interestelar. Qualquer civilização capaz de interceptar a Voyager nas profundezas do espaço, seus transmissores há muito esgotados, saberá mais sobre ciência do que nós. Queremos dizer a esses outros seres alguma coisa que parece única a nosso respeito. Aspectos do córtex cerebral e do sistema límbico estão bem representados, o complexo-R um pouco menos. Embora os receptores possam não saber as linguagens da Terra, incluímos saudações em sessenta línguas humanas, bem como cumprimentos das baleias-de-bico. Enviamos fotografias de seres humanos de todo o mundo se cuidando, aprendendo, fabricando ferramentas e comercializando. Há uma obra e meia de música delicada de muitas culturas, algumas delas expressando nossa sensação de solidão cósmica, nosso desejo de terminar o isolamento, nossa vontade de estabelecer contato com outros seres no Cosmos. Enviamos gravações de sons que devem ter sido ouvidos em nosso planeta nos primeiros dias antes da origem da vida, até a evolução da espécie humana e a nossa mais recente tecnologia emergente. É, tanto quanto os sons de qualquer baleia da Groenlândia, uma canção de amor na vastidão das profundezas. Muito, talvez a maior parte, de nossas mensagens é indecifrável, mas nós as enviamos porque é importante tentar.

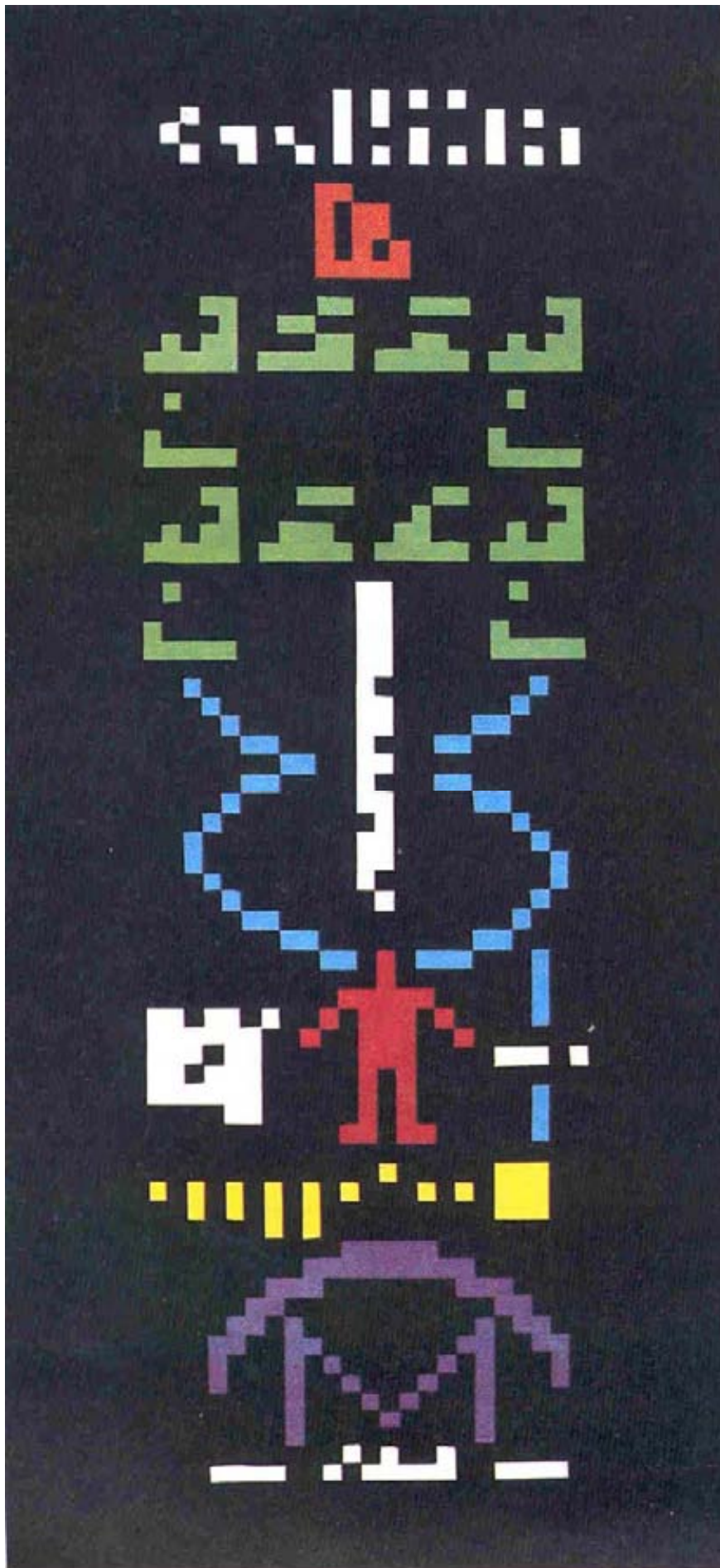
Com esta intenção incluímos na espaçonave Voyager os pensamentos e sentimentos de uma pessoa, a atividade elétrica do seu cérebro, coração, olhos e músculos, que foram gravados por uma hora, transcritos em sons, compactos e incorporados ao disco. Em um sentido, lançamos ao Cosmos uma transcrição direta dos pensamentos e sentimentos de um único ser humano no mês de junho do ano de 1977 no planeta Terra. Talvez os receptores não façam nada, ou pensem que seja o registro de um pulsar, pois lembra, em um aspecto superficial, um deles. Ou talvez uma civilização inimaginavelmente mais avançada que a nossa seja capaz de decifrar estes pensamentos e sentimentos registrados, e apreciar nossos esforços em partilhá-los com eles.

A informação em nossos genes é muito antiga, em sua maior parte com mais de milhões de anos, algumas delas com bilhões. Em contraste, a informação em nossos livros tem no máximo milhares de anos, e a em nossos cérebros somente décadas. A informação duradoura não é caracteristicamente uma informação humana. Pela erosão na Terra, nossos monumentos e artefatos, de acordo com o curso natural das coisas, não sobreviverão a um futuro distante, mas o registro da Voyager o fará em sua viagem para fora do sistema solar. A erosão no espaço interestelar — principalmente raios cósmicos e grãos de poeira impactantes — é tão lenta que a informação no disco perdurará por bilhões de anos. Genes, cérebros e livros codificam informações de modo diferente e persistem no tempo em ritmo diferente. A persistência da memória na espécie humana perdurará bem mais nas ranhuras impressas no metal do disco da espaçonave Voyager.



A mensagem da Voyager está viajando a uma lentidão agonizante. O objeto mais rápido lançado pela espécie humana levará dezenas de milhares de anos para cobrir a distância até a estrela mais próxima. Qualquer programa de televisão atravessa em horas a distância que a Voyager cobre em anos. Uma transmissão de televisão, que acabou de ir para o ar, sobrepujará em algumas horas a espaçonave Voyager na região de Saturno e além dela, em direção das estrelas. Se for conduzida desta forma o sinal atingirá a Alfa Centauro em pouco mais de quatro anos. Se, daqui a algumas décadas ou séculos, alguém de fora, no espaço, ouvir nossas transmissões televisivas, espero que pense bem de nós, produto de quinze bilhões de anos de evolução cósmica, a transmogrificação local da matéria em consciência. Nossa inteligência recentemente proveu-nos com poderes apavorantes. Ainda não ficou claro se possuímos a sabedoria para evitar nossa autodestruição. Muitos de nós estão tentando com afinco. Esperamos que logo, na perspectiva do tempo cósmico, tenhamos unificado nosso planeta pacificamente em uma organização que valoriza a vida de cada criatura viva sobre ela e que estejamos prontos para o próximo grande passo, tornando-nos parte de uma sociedade galáctica de civilizações em comunicação.

O registro da Voyager. Uma vez que, após a exploração dos planetas gigantes, as duas naves espaciais Voyager deixarão o sistema solar, elas levam mensagens para qualquer civilização interestelar que as aprisione. O envoltório do disco (*acima*) fornece, em linguagem científica, instruções de como fazer o disco girar e alguns dados da posição e da época atual da Terra. Dentro do envoltório (*abaixo*) está o disco propriamente dito. Ele perdurará por bilhões de anos.



A Mensagem Interestelar de Arecibo. A 16 de novembro de 1974 foi transmitido um sinal de rádio do Observatório de Arecibo para o aglomerado globular M13, a cerca de 25.000 anos-luz, bem distante do plano da Via-láctea. O sinal continha 1679 bits de informação. Mas $1679 = 73 \times 23$, o produto de dois números primos, sugere que os terminais podem ser arrumados em uma disposição de 73×23 , que resulta nesta figura. A primeira fileira estabelece uma convenção de contagem binária; a segunda especifica os números atômicos dos elementos químicos hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio e fósforo, dos quais somos formados (Capítulo 9). Nestes termos, os conjuntos verde e azul representam, respectiva e numericamente, os nucleotídeos e a espinha dorsal do ADN, o açúcar-fosfato (Capítulo 2). O conjunto branco vertical representa o número de nucleotídeos nos genes da criatura em vermelho, da qual a população total é o número à sua direita e que tem a altura do número à sua esquerda (em unidades de comprimento de ondas de transmissão, 12,6 centímetros). Em amarelo está o sistema planetário da criatura, o terceiro planeta apresentando um significado particular. Em violeta está o radiotelescópio transmitindo a mensagem. Seu tamanho é fornecido entre as linhas horizontais. Cortesia do Arecibo Observatory; National Astronomy and Ionosphere Center, Cornell University.



Capítulo XII

ENCYCLOPAEDIA GALACTICA

"O que são vocês? De onde vieram? Nunca vi algo como você." O Criador Raven olhou para o Homem e ficou... surpreso em descobrir que aquele novo ser estranho era muito parecido com ele.

— Um mito esquimó da criação

O Céu foi descoberto. A Terra foi descoberta. Quem deve viver agora, ó, deuses?

— Crônica asteca, *A História dos Reinos*

Sei que alguns dirão que somos um pouco atrevidos nestas Defesas dos Planetas e que nos valem de muitas Probabilidades, uma das quais, se for falsa ou contrária à nossa Suposição, como um Alicerce defeituoso, provocará a queda da Construção inteira, fazendo-a cair ao solo. Mas... supondo a Terra, como nós o fazemos, como um dos Planetas com dignidade e honra iguais ao resto, quem se aventurará a dizer que em nenhuma outra parte será descoberto alguém que apreciou a visão gloriosa da Ópera da Natureza? Ou que não existem Espectadores-Amigos, embora sejamos os únicos que mergulhamos no fundo dos segredos e conhecimentos dela?

— Christiaan Huygens em *Novas Conjecturas Concernentes aos Mundos Planetários, Seus Habitantes e Produtos*, em torno de 1690

O autor da Natureza... tornou impossível para nós fazer alguma comunicação desta Terra com os outros grandes corpos do universo, em nosso estado atual; e é altamente possível que ele tenha igualmente cortado toda a comunicação entre os outros planetas e entre os diferentes sistemas... Observamos em todos eles o suficiente para despertar nossa curiosidade, mas não para satisfazê-la... Não parece apropriado à sabedoria, que brilha em toda a natureza, supormos que devemos ver até tão



Jean François Champollion (1750-1832), que decifrou os hieróglifos egípcios. Retrato de Leon Cogniet, 1831. Cortesia do Louvre, Paris, Réunion des musées nationaux, Paris.

longe e ter a nossa curiosidade tão atiçada... somente para ficarmos desapontados no final... Isto, portanto, nos leva naturalmente a considerar nosso presente estado como somente o amanhecer ou o início da nossa existência, e como um estado de preparação ou provação para um maior avanço.

— Colin Maclaurin, 1748

Não pode haver uma linguagem mais universal e mais simples, mais livre de erros e obscuridades... mais digna de expressar as relações invariáveis das coisas naturais [do que a matemática]. Interpreta [todos os fenômenos] pela mesma linguagem, como para atestar a unidade e simplicidade do plano do universo, e tornar ainda mais evidente esta ordem mutável que preside sobre todas as causas naturais.

— Joseph Fourier, *Teoria Analítica do Calor*, 1822

LANÇAMOS QUATRO NAVES PARA AS ESTRELAS, as Pioneers 10 e 11 e as Voyagers 1 e 2. São pequenas embarcações primitivas e atrasadas movendo-se, comparadas às imensas distâncias interestelares, com uma lentidão de uma geração em um sonho. Mas no futuro serão melhores. Haverá objetivos interestelares designados, e mais cedo ou mais tarde nossas espaçonaves terão tripulações humanas. Na Via-láctea deve haver muitos planetas milhões de anos mais velhos do que a Terra, e alguns, bilhões de anos. Será que não fomos visitados? Em todos esses bilhões de anos desde a origem do nosso planeta, será que nunca houve uma nave estranha de uma civilização distante inspecionando, de cima, o nosso mundo e descendo lentamente para a superfície para ser observada por libélulas iridescentes, répteis sem curiosidade, primatas aos gritos ou seres humanos pesquisadores? A idéia não é forçada. Ocorre a qualquer um que se deteve, mesmo casualmente, sobre a questão da vida no universo. Mas será que realmente aconteceu? O resultado crítico é a qualidade da evidência significativa, rigorosa e ceticamente perscrutada — não o testemunho imaginário de uma ou duas testemunhas oculares auto-intituladas. Por este padrão, não há casos obrigatórios de visitas extraterrestres, a despeito de todas as reivindicações sobre UFOs e antigos astronautas que algumas vezes fazem o nosso planeta parecer inundado de convivas não convidados. Gostaria que fosse de um outro modo. Há algo de irresistível sobre a descoberta de algum indício, talvez uma inscrição complexa, e ainda mais, uma chave para a compreensão de algo alienígena ou civilização exótica. É um apelo que nós, seres humanos, já sentimos antes.

Em 1801 um físico chamado Joseph Fourier* foi o prefeito de um "departement" da França chamado Isère. Enquanto ins-

*Fourier é agora famoso pelo seu estudo da propagação do calor nos sólidos, utilizado hoje na compreensão das propriedades de superfícies dos planetas, e pela investigação sobre as ondas e outros movimentos periódicos — um ramo da matemática conhecido como análise de Fourier.

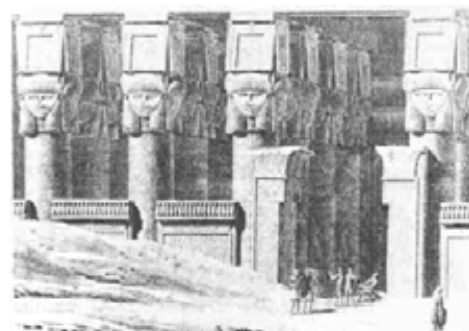
peçonava escolas em sua província, Fourier descobriu um menino de onze anos cuja inteligência notável e inclinação para as línguas orientais já tinha merecido a atenção e admiração de seus professores. Fourier convidou-o para uma conversa. O menino ficou fascinado pela coleção de Fourier de peças egípcias, reunidas durante a exposição napoleônica, quando ele tinha sido responsável pela catalogação dos monumentos astronômicos daquela antiga civilização. As inscrições em hieróglifos despertaram a sede da pesquisa do menino. "O que significam?", perguntou o garoto. "Ninguém sabe", foi a resposta. O nome do menino era Jean François Champollion. Desperto pelo mistério da linguagem que ninguém podia ler, tornou-se um lingüista fantástico e apaixonadamente mergulhado na antiga escrita egípcia. A França daquela época foi inundada com obras egípcias roubadas por Napoleão e, mais tarde, postas à disposição de estudiosos ocidentais. A descrição da expedição foi publicada e "devorada" pelo jovem Champollion. Já adulto, Champollion realizou-se: sua ambição de criança foi alcançada, pois conseguiu decifrar com brilhantismo os antigos hieróglifos egípcios. Mas não foi senão em 1828, vinte e sete anos após seu encontro com Fourier, que Champollion, pela primeira vez, foi ao Egito, a terra dos seus sonhos, até o Cairo, seguindo o curso do rio Nilo, prestando homenagem à cultura que tanto tinha trabalhado para compreender. Era, na época, uma expedição, uma visita a uma civilização alienígena:

Ao entardecer do 16.º dia, finalmente chegamos a Dendera. Havia uma magnífica lua cheia e estávamos somente a uma hora dos Templos. "Poderíamos resistir às tentações?" perguntei ao mais frio dos mortais. Jantar e partir imediatamente foram as ordens; á sós e sem guias, porém armados até os dentes, atravessamos os campos... por último, o Templo se nos apareceu... Poderíamos medi-lo, mas dar uma idéia dele seria impossível. É a união da graça e da majestade em seu mais alto grau. Permanecemos lá por duas horas em êxtase, percorrendo as salas imensas... e tentando ler as inscrições externas à luz do luar. Retornamos ao barco às três da manhã e voltamos ao Templo às sete... O que tinha sido magnífico à luz da Lua, ainda o era quando o brilho do Sol nos revelou todos os detalhes... Nós, na Europa, somos somente anões, e nenhuma nação, antiga ou moderna, concebeu a arte da arquitetura em um estilo tão sublime, grandioso e imponente, como os antigos egípcios. Projetaram tudo para ser utilizado por pessoas com cem pés de altura.

Nas paredes e colunas de Karnak, em Dendera, em todos os locais do Egito, Champollion deleitou-se em descobrir que podia ler as inscrições quase sem esforço. Muitos antes dele tinham tentado e falhado em decifrar os hieróglifos, palavra que significa "esculturas sagradas". Alguns estudiosos acreditaram ser um tipo de código de gravuras, rico em metáforas obscuras, principalmente olhos e linhas onduladas, escaravelhos, abelhas e pássaros, especialmente pássaros. A confusão predominava. Havia os que



As ruínas de Karnak. Frontispício da *Description de L'Egypte*, que Napoleão conseguiu que fosse publicado em 1809, após sua expedição àquele país. Cortesia UCLA Special Collections.



O Templo de Dendera, parcialmente coberto pelas areias do deserto. As colunas exibem a cabeça da deusa Hathor. Do *Description de L'Egypte*. Cortesia da UCLA Special Collections.

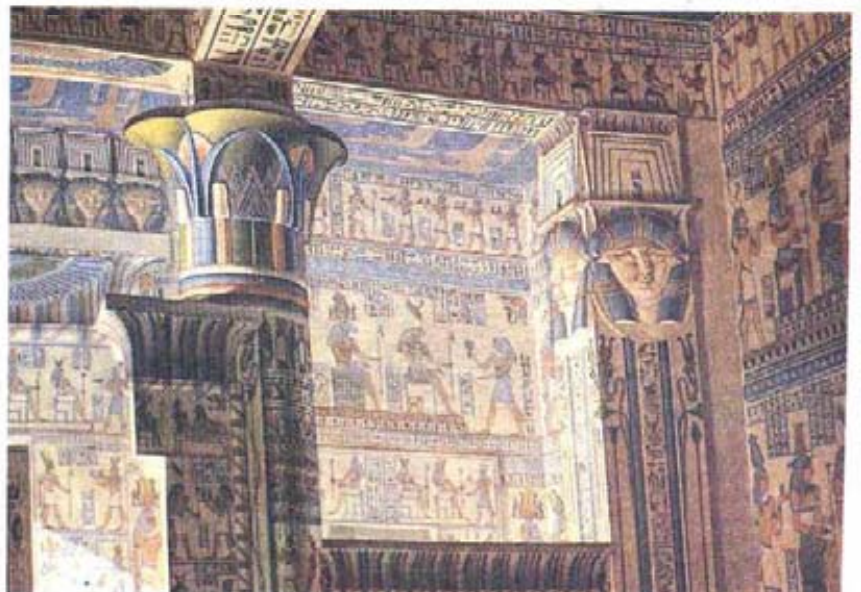
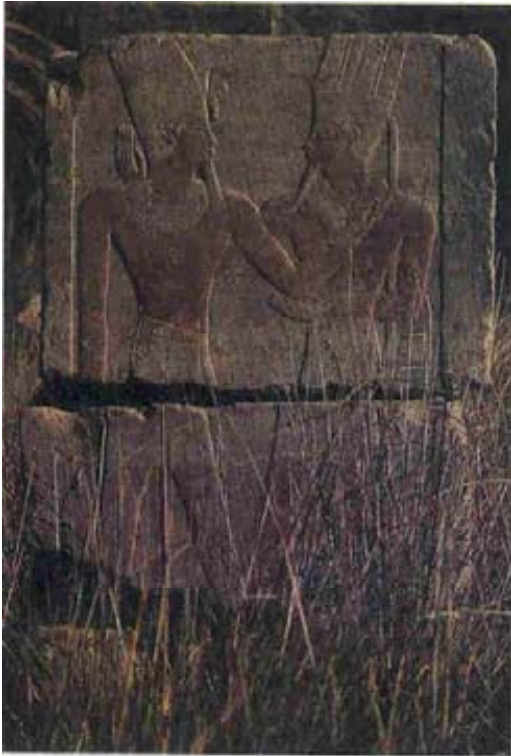


A Pedra de Roseta, feita de basalto escuro com cerca de um metro de altura (ao alto), mostra a mesma inscrição em hieróglifos egípcio, demótico e grego. Cada cartela no texto em hieróglifos (apontado ao centro) corresponde ao nome Ptolomeu (Ptolemaios) no texto grego (apontado abaixo).

deduziam que os egípcios foram colonizados pela China antiga. Havia os que concluíam o oposto. Foram publicados enormes volumes de traduções falsas. Um intérprete olhou para a pedra de Roseta, cuja inscrição ainda não tinha sido decifrada, e anunciou instantaneamente seu significado. Disse que a rápida decifragem o capacitou a "evitar os erros sistemáticos surgidos de uma reflexão prolongada". Obtemos melhores resultados, argumentou, não pensando muito, assim como com a pesquisa pela vida extraterrestre de hoje, a especulação desenfreada dos amadores afastou muitos profissionais do campo.

Champollion resistiu à idéia dos hieróglifos como uma metáfora pictórica. Pelo contrário, com o auxílio do discernimento brilhante de um físico inglês, Thomas Young, conduziu-se da seguinte forma: a pedra de Roseta foi desenterrada em 1799 por um soldado francês que trabalhava nas fortificações da cidade de Rashid no delta do Nilo, a que os europeus totalmente ignorantes da língua árabe, chamavam de Roseta. Era uma laje de um antigo templo, exibindo o que parecia claramente a mesma mensagem em três escritas diferentes: em cima em hieróglifos, em um tipo de hieróglifo cursivo chamado demótico ao centro, e embaixo em grego, a chave para o empreendimento. Champollion, que falava fluentemente o grego antigo, leu que a pedra tinha recebido inscrições em comemoração à coroação de Ptolomeu V Epifânio, na primavera do ano de 196 A.C. Nesta ocasião, o rei libertou presos políticos, diminuiu as taxas, doou templos, perdoou rebeldes, aumentou os aparatos militares e, resumindo, fez todas as coisas que os governadores fazem quando querem permanecer no cargo.

O texto grego menciona Ptolomeu várias vezes. Quase que nas mesmas posições no texto hieróglifo, existe um grupo de símbolos circundado por uma oval. Isto, raciocinou Champollion, com muita probabilidade, também se refere a Ptolomeu. Se assim for, a escrita não é fundamentalmente pictórica ou metafórica, mas sim a maioria dos seus símbolos corresponde a letras ou sílabas. Champollion também teve a presença de espírito de contar o número de palavras gregas e o número de hieróglifos individuais no que seria presumivelmente o mesmo texto. Havia menor quantidade das primeiras, novamente sugerindo que os hieróglifos eram principalmente letras e símbolos. Mas, que hieróglifos correspondiam a que letras? Felizmente, Champollion possuía consigo um obelisco que tinha sido escavado em Fila, que incluía o hieróglifo equivalente ao nome grego de Cleópatra. Os dois ovais de Ptolomeu e Cleópatra, rearrumados para serem lidos da esquerda para a direita estão à página 296. Ptolomeu começa com P; o primeiro símbolo no oval é um quadrado e no oval de Cleópatra, na quinto posição, está o mesmo quadrado. A quarta letra em Ptolomeu é L. Será representada pelo leão? A segunda letra de Cleópatra é L, e em hieróglifo, há um leão. A águia é um A, aparecendo, como deveria, duas vezes em Cleópatra. Começa a surgir um padrão. Os hieróglifos egípcios são, em uma grande parte, uma simples cifra de substituição, mas nem todos são uma letra ou sílaba. Alguns são pictografias. O final do oval de Ptolomeu significa: "Eterno, bem-amado do



Relíquias do Antigo Egito. Acima, à esquerda, marco faraônico coberto por vegetação, no Vale dos Reis (foto do autor). Acima, à direita, o Colosso de Memmon, guardiães de um grande templo mortuário de Amenófis III.

O templo propriamente dito foi totalmente demolido há 1900 anos. As cores temperadas apresentam uma semelhança com o século XIX dos antigos edifícios egípcios, alguns ainda parcialmente enterrados na areia. Cores a cargo do Rei da Prússia, Frederico IV. De R. Lepsius, *Denkmaeler... aus Aegypten*, 1849-1859.



Transliteração de uma cártula de Ptolomeu, da Pedra de Roseta, e uma de Cleópatra, do obelisco de Fila.

deus Ptah". O semicírculo e o ovo no final do de Cleópatra são um ideograma convencional para "filha de Ísis". A mistura de letras e pictografias causou alguma aflição aos primeiros intérpretes.

Em retrospecto, parece quase fácil, mas levou muitos séculos para ser entendido, e havia muito mais para ser feito, especialmente na decifração dos hieróglifos de tempos mais antigos. Os ovais eram chaves dentro de chaves, quase como se os faraós do Egito tivessem circundado seus próprios nomes para facilitar o trabalho dos egiptologistas dois mil anos depois. Champollion andou pela Grande Sala do Hipostilo em Karnak e leu casualmente as inscrições, que tinham intrigado a todos os outros, respondendo à pergunta que, quando menino, tinha feito a Fourier. Que alegria deve ter sido abrir esta via de comunicação com outra civilização, para permitir uma cultura silenciosa por milênios contar sua história, magia, medicina, religião, política e filosofia.

Hoje estamos novamente procurando mensagens de uma antiga e exótica civilização, desta vez escondida de nós não somente no tempo como também no espaço. Se recebermos uma mensagem de rádio de uma civilização extraterrestre, como será possível compreendê-la? A inteligência extraterrestre seria elegante, complexa, internamente consistente e totalmente estranha. Os extraterrestres podem, naturalmente, ansiar por fazer uma mensagem enviada a nós o mais compreensível. Como poderão fazer isto? Haverá, em algum sentido, uma pedra de Roseta interestelar? Acreditamos que sim. Acredita-mos que exista uma linguagem comum a todas as civilizações técnicas, não importa se muito diferentes. Esta linguagem comum é a ciência e a matemática. As leis da Natureza são as mesmas em todos os locais. Os padrões no espectro das estrelas e galáxias distantes são as mesmas do Sol ou para experiências apropriadas em laboratórios: não somente os mesmos elementos químicos existem em todos os lugares do universo, como também as mesmas leis da mecânica quântica que governam a absorção e a emissão de radiação pelos átomos se aplicam também em todos os locais. As galáxias distantes, girando uma em torno da outra, seguem as mesmas leis da física gravitacional que governam o movimento de uma maçã que cai na Terra, ou a Voyager em seu caminho entre as estrelas. Os padrões da Natureza são os mesmos em todos os locais. Uma mensagem interestelar com a intenção de ser compreendida por uma civilização emergente deve ser fácil de ser decodificada.

Não esperamos uma civilização técnica avançada em qualquer outro planeta em nosso sistema solar. Se houver uma somente um pouco atrás de nós — 10.000 anos, por exemplo — não terá nenhuma tecnologia avançada. Se estiver somente um pouco à frente de nós — que já estamos explorando o sistema solar — seus representantes já deverão estar entre nós. Para nos comunicarmos com outras civilizações, precisamos de um método adequado não meramente para distâncias interplanetárias, mas também para as interestelares. O ideal seria um método barato, de modo que uma quantidade imensa de informação pudesse ser enviada e recebida a baixo custo; rápido, de modo que um diálogo interestelar seja possível; e óbvio, de

modo que qualquer civilização tecnológica, não importando qual a sua via evolucionária, o descobrisse logo. Surpreendentemente existe um método assim. É chamado de radioastronomia.

O maior observatório de rádio/radar semidirecionável do planeta Terra é o de Arecibo, que a Universidade de Cornell opera para a Fundação Nacional de Ciência. No mais remoto interior da ilha de Porto Rico, tem 305 metros de diâmetro, e sua superfície refletora é uma secção de uma esfera que repousa em um vale em forma de taça, já existente antes. Recebe ondas de rádio das profundezas do espaço concentrando-as no braço receptor da antena, sustentado bem acima do prato, que é por sua vez conectado eletronicamente com a sala de controle, onde os sinais são analisados. Alternativamente, quando o telescópio é utilizado como um transmissor de radar, o braço receptor pode transmitir um sinal para o disco, que o reflete para o espaço. O Observatório de Arecibo foi utilizado para a busca de sinais inteligentes de civilizações no espaço, e somente uma vez, para enviar uma mensagem — para a ML 3, um aglomerado globular distante de estrelas, de modo que nossa capacidade técnica para nos ajustarmos a ambos os lados de um diálogo interestelar ficou esclarecida, pelo menos para nós.

Em um período de poucas semanas, o Observatório de Arecibo poderia transmitir para um observatório comparável em um planeta ou estrela próxima toda a *Encyclopaedia Britannica*. As ondas de rádio viajam com a velocidade da luz, 10.000 vezes mais rápido do que uma mensagem levada por uma das nossas espaçonaves interestelares mais velozes. Os radiotelescópios geram em faixas estreitas de frequência, sinais tão intensos que podem ser detectados em distâncias interestelares imensas. O Observatório de Arecibo poderia comunicar-se com um radiotelescópio idêntico em um planeta a 15.000 anos-luz de distância, na metade do caminho ao centro da Via-láctea, se soubéssemos precisamente onde fica este ponto. E a radioastronomia é uma tecnologia natural. Virtualmente qualquer atmosfera planetária, não importa a sua composição, deve ser parcialmente transparente a ondas de rádio. As radiomensagens não são muito absorvidas ou dispersas pelo gás entre as estrelas, assim como a estação de rádio de São Francisco pode ser ouvida com facilidade em Los Angeles, mesmo quando o *smog* reduz a visibilidade a comprimentos de onda ópticos a poucos quilômetros. Há muitas fontes de rádio cósmicas naturais que não têm nada a ver com a vida inteligente — pulsars e quasars, os cinturões de radiação dos planetas e as atmosferas exteriores das estrelas; de quase todos os planetas, há fontes de rádio brilhantes para serem descobertas no início do desenvolvimento da radioastronomia. Além disso, o rádio representa uma grande fração do espectro eletromagnético. Qualquer tecnologia capaz de detectar a radiação de qualquer comprimento de onda depara logo na parte de rádio do espectro.

Deve haver outros métodos eficazes de comunicação com um mérito substancial: espaçonaves interestelares, lasers ópticos ou infravermelhos; neutrinos pulsáteis, ondas gravitacionais noduladas, ou outro tipo de transmissão que não descabri-



O observatório de rádio/radar de Arecibo, em Porto Rico. O disco refletor hemisférico está montado sob os braços do refletor, os quais são suportados por três grandes obeliscos, dois dos quais são vistos deformados na foto abaixo, tirada com uma lente olho de peixe ao nível dos painéis que formam o disco. Cortesia do National Astronomy and Ionosphere Center, Cornell University.

remos em mil anos. As civilizações avançadas podem basear suas comunicações na região bem além do rádio. Mas o rádio é poderoso, barato, rápido e simples. Eles saberão que uma civilização como a nossa, desejosa de receber mensagens dos céus, provavelmente se voltará primeiro para a radiotecnologia. Talvez eles tenham que retirar os radiotelescópios do Museu da Tecnologia Antiga. Se recebermos radiomensagens, saberemos que haverá pelo menos uma coisa para ser conversada: a radioastronomia.

Haverá alguém lá para conversar? Com um terço ou metade de um trilhão de estrelas só em nossa Via-láctea, poderia a nossa ser a única acompanhada por um planeta habitado? Quanto haverá de probabilidade das civilizações técnicas serem um lugar comum cósmico, de onde a Galáxia esteja pulsando e sussurrando de sociedades avançadas, e que uma destas culturas mais próximas não esteja tão distante — talvez transmitindo de antenas estabelecidas em um planeta de uma estrela vista a olho nu, bem próxima? Talvez quando olharmos para o céu à noite, próximo a um destes pontos diminutos de luz pálida, haja um mundo onde alguém bem diferente de nós estará, então, observando uma estrela a que chamamos de Sol e distraído-se, por um momento, com uma especulação afrontosa.

Uma certeza é muito difícil. Existem vários impedimentos para a evolução de uma civilização técnica. Os planetas podem ser mais raros do que supomos. Talvez a origem da vida não seja tão fácil quanto sugerem as experiências em nossos laboratórios. Talvez a evolução de formas de vida avançadas seja improvável, ou as formas de vida complexas evoluam rapidamente, mas as sociedades inteligentes e técnicas requerem um grupo improvável de coincidências, como a evolução da espécie humana dependia do desaparecimento dos dinossauros e da recessão das florestas nas eras glaciais, em cujas árvores nossos ancestrais guinchavam e circulavam. Ou talvez as civilizações surjam repetida e inexoravelmente em planetas incontáveis na Via-láctea, mas sendo geralmente instáveis; assim, somente uma pequena fração é capaz de sobreviver à sua tecnologia e sucumbe à avidez e ignorância, poluição e guerra nuclear.

É possível explorar este grande fluxo ainda mais e fazer uma estimativa real de N , o número de civilizações técnicas avançadas na Galáxia. Definimos uma civilização avançada como uma capaz de possuir a radioastronomia. É, naturalmente, uma definição paroquial, se essencial. Deve haver uma infinidade de mundos nos quais os habitantes são lingüistas perfeitos ou poetas soberbos, mas com radioastrônomos indiferentes. Não os ouviremos. N pode ser tido como o produto ou multiplicação de um número de fatores, cada qual um tipo de filtro, todos podendo ser classificados, pois deve existir um grande número de civilizações:

N_* , número de estrelas na Via-láctea;

f_p , fração de estrelas com sistema planetário;

n_e , número de planetas em um dado sistema, ecologicamente adequados para a vida;

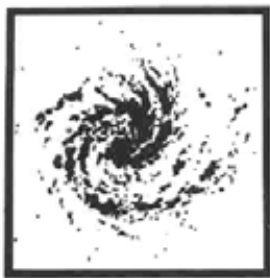
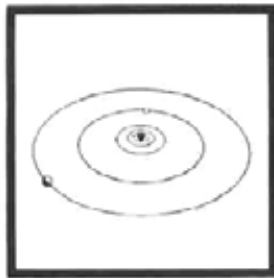
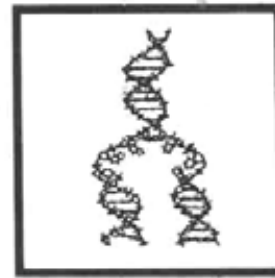
f_1 , fração de outros planetas adequados nos quais a vida realmente surgiu;
 f_i , fração de planetas habitados nos quais evoluiu uma forma de vida inteligente;
 f_c , fração dos planetas habitados por seres inteligentes nos quais desenvolveu-se uma civilização técnica comunicativa;
 e
 f_L , fração da duração de vida planetária favorecida com uma civilização técnica.

Transcrita a equação, temos: $N = N_* f_p n_e f_1 f_i f_c f_L$. Todos os f são frações, possuindo valores de 0 a 1; eles reduzirão o grande valor de N_* .

Para deduzir N devemos estimar cada uma dessas quantidades. Sabemos uma quantidade distinta sobre os primeiros fatores na equação, o número das estrelas e dos sistemas planetários. Sabemos muito pouco sobre os outros fatores concorrentes à evolução da inteligência ou ao tempo de vida das sociedades técnicas. Nestes casos nossas estimativas serão um pouco mais do que suposições. Convido-os, se não concordarem com as minhas estimativas abaixo, a fazer suas próprias escolhas, e verificar quais as implicações que suas sugestões alternativas exercem no número de civilizações na Galáxia. Uma das grandes virtudes dessa equação, devida originalmente a Frank Drake, de Cornell, é que envolve aspectos que vão da astronomia planetária e estelar à química orgânica, biologia evolucionária, história, política e psicologia. Muito do Cosmos está contido na equação de Drake.

Sabemos N_* , o número de estrelas na Via-láctea, com uma certeza através de contagens cuidadosas de estrelas em pequenas, porém representativas regiões do céu. É de algumas centenas de bilhões; algumas estimativas recentes o colocam em 4×10^{11} . Muito poucas dessas estrelas são da variedade massiva de vida curta que esbanja suas reservas de combustível nuclear. A grande maioria possui uma duração de vida de bilhões de anos ou mais, nos quais brilham estavelmente, provendo uma fonte energética adequada para a origem e evolução da vida em planetas próximos.

Há evidências de que os planetas sejam uma companhia freqüente de formação estelar: nos sistemas de satélites de Júpiter, Saturno e Urano, que são como sistemas solares em miniatura; nas teorias da origem dos planetas; nos estudos sobre estrelas duplas; nas observações dos discos de acréscimo em volta das estrelas e em algumas investigações preliminares das perturbações gravitacionais das estrelas próximas. Muitas, talvez a maioria das estrelas, possuem planetas. Na fração das estrelas que possuem planetas, f_p , temos em torno de $1/3$. Então, o número total de sistemas planetários na Galáxia seria $N_* f_p \sim 1,3 \times 10^{11}$ (o símbolo $\sim$ significa "aproximadamente igual a"). Se cada sistema tiver cerca de dez planetas, como o nosso, o número total de mundos na Galáxia será mais de um trilhão, uma vasta arena no drama cósmico.

 **N_*** **x** **f_p** **x** **n_e** **x** **f_1** **x**

Em nosso próprio sistema solar há vários corpos adequados para algum tipo de vida: a Terra, certamente, e talvez Marte, Titã e Júpiter. Uma vez originada a vida, ela tende a ser muito adaptável e tenaz. Deve haver muitos ambientes diferentes adequados para a vida em um dado sistema planetário. Conservadoramente escolhemos $n_e = 2$. Então, o número dos planetas na Galáxia, adequados para a vida, fica $N_* f_p n_e \sim 3 \times 10^{11}$.

Experimentos mostram que, sob a maioria das condições cósmicas comuns, a base molecular da vida, a construção de blocos de moléculas capazes de fazer cópias delas mesmas é prontamente formada. Estamos agora em solo menos seguro; deve haver, por exemplo, impedimentos na evolução do código genético, embora ache isto improvável por bilhões de anos da química primitiva. Escolhemos $f_1 \sim 1/3$, significando um número total de planetas na Via-láctea, na qual a vida surgiu pelo menos uma vez como $N_* f_p n_e f_1 \sim 1 \times 10^{11}$, cem bilhões de mundos habitados. É uma conclusão em si admirável, mas ainda não terminamos.

As escolhas de f_i e f_c são ainda mais difíceis. Por um lado, muitas etapas individualmente improváveis ocorreram na evolução biológica e na histórica humana para a nossa inteligência e tecnologia atuais se desenvolverem. Por outro lado, deve existir muitos acessos bem diferentes para uma civilização avançada de capacidades específicas. Considerando a dificuldade aparente na evolução dos grandes organismos representados pela explosão Cambriana, escolhemos $f_i \times f_c = 1/100$, significando que somente um por cento dos planetas onde a vida surgiu, eventualmente, produziu uma civilização técnica. Esta estimativa representa uma média entre as várias opiniões científicas. Alguns acham que o equivalente da emergência dos trilobitas à domesticação do fogo acontece com a rapidez de um tiro em todos os sistemas planetários; outros pensam que, mesmo em dez ou quinze bilhões de anos, a evolução das civilizações técnicas é improvável. Este não é um assunto com o qual possamos fazer muitas experiências, já que nossas investigações estão limitadas a um único planeta. Multiplicando os fatores, temos: $N_* f_p n_e f_1 f_i f_c \sim 1 \times 10^9$, um bilhão de planetas nos quais as civilizações técnicas surgiram pelo menos uma vez. Isto é muito diferente de dizer-se que existe um bilhão de planetas nos quais há agora uma civilização técnica. Para isso, devemos estimar f_L . Que percentagem da duração da vida



$$\mathbf{f_i} \quad \mathbf{x} \quad \mathbf{f_c} \quad \mathbf{x} \quad \mathbf{f_L} \quad = \quad \mathbf{N}$$

de uma planeta é marcada por uma civilização técnica? A Terra abrigou uma civilização técnica caracterizada pela radioastronomia por somente algumas décadas em uma vida de alguns bilhões de anos. Até agora, para o nosso planeta, f_L é menos de $1/10^8$, um milionésimo por cento. Dificilmente exclui-se a possibilidade de nos destruirmos amanhã. Suponhamos que isto fosse um caso típico e a destruição tão completa que nenhuma outra civilização técnica— humana ou de qualquer outra espécie — fosse capaz de emergir nos cinco ou mais bilhões de anos que restam antes da morte do Sol. Então $N = N_* f_p n_e f_1 f_i f_c f_L \sim 10$ e em qualquer tempo haveria somente laivos, uma pequeníssima quantidade de civilizações técnicas na Galáxia, o número estável mantido à medida que as sociedades emergentes substituem as recentemente auto-imoladas. O número N talvez seja até 1. Se as civilizações tendem a destruir-se logo após atingir uma fase tecnológica, não deve haver ninguém para falar sobre isso conosco, a não ser nós mesmos. Pouco fazemos. As civilizações levam bilhões de anos de evolução tortuosa para surgir, e então se apagam em um instante de negligência imperdoável.

Consideremos uma alternativa, a perspectiva que pelo menos algumas civilizações aprendem a viver com alta tecnologia, que as contradições propostas pelos caprichos da evolução cerebral do passado são conscientemente resolvidas e não levam à autodestruição; ou que pelo mesmo se ocorrem grandes perturbações, elas são revertidas nos bilhões de anos subsequentes de evolução biológica. Estas sociedades devem viver até uma idade avançada e próspera, sua duração de vida medida talvez em escalas de tempo geológicas ou evolucionárias estelares. Se um por cento das civilizações pode sobreviver à adolescência tecnológica, escolhamos o caminho certo nesta bifurcação histórica crítica e atinjamos a maturidade, e então $f_L \sim 1/100$, $N \sim 10^7$, e o número de civilizações existentes na Galáxia estará na casa dos milhões. Deste modo, todos os nossos conceitos sobre as possíveis incertezas de nossas estimativas dos fatores iniciais na equação de Drake, que envolvem astronomia, química orgânica e biologia evolucionária, as principais incertezas se resumem em economia e política, e ao que na Terra chama-mos de natureza humana. Parece que ficou claro que se a autodestruição não é o destino preponderante, irresistível das civilizações galácticas, então o céu sussurra gen-

tilmente com mensagens das estrelas.

Estas estimativas são excitantes. Sugerem que o recebimento de uma mensagem do espaço é, mesmo antes de ser decodificada, um sinal profundamente repleto de esperanças. Significa que alguém aprendeu a viver com a alta tecnologia, que é possível sobreviver à adolescência tecnológica. Somente isto, à parte de conteúdo da mensagem, nos incute uma justificativa poderosa para a procura de outras civilizações.

Se há milhões de civilizações distribuídas mais ou menos ao acaso pela Galáxia, a distância para a mais próxima é de cerca de duzentos anos-luz. Mesmo com a velocidade da luz, levaríamos dois séculos para uma radiomensagem chegar aqui. Se iniciássemos o diálogo, seria como se a pergunta tivesse sido formulada por Johannes Kepler e a resposta recebida por nós. Especialmente porque nós, iniciantes na radioastronomia, devemos estar comparativamente atrasados, e a civilização transmissora, avançada, e faz mais sentido, para nós, ouvir do que enviar. Para uma civilização mais avançada, as posições são naturalmente reversas.

Estamos em nossos estágios iniciais de nossa procura, através do rádio, de outras civilizações no espaço. Em uma fotografia óptica de um campo estelar denso, há centenas de milhares de estrelas. Pelas nossas estimativas muito otimistas, uma delas é o local de uma civilização avançada. Mas, qual delas? Para qual estrela devemos apontar nossos radiotelescópios? Das milhões de estrelas que podem marcar o local de civilizações avançadas, examinamos até agora, pelo rádio, não mais do que alguns milhares. Fizemos cerca de um décimo de um por cento do esforço requerido. Mas uma pesquisa séria, rigorosa e sistemática logo se iniciará. As etapas preparatórias estão agora progredindo, tanto nos Estados Unidos como na União Soviética. São comparativamente baratas: o custo de uma única embarcação naval, por exemplo um destróier, seria o mesmo de um programa com a duração de dez anos para a procura da inteligência extraterrestre.

Encontros benevolentes não são uma regra na história, onde contatos transculturais têm sido diretos e físicos, bem diferentes da recepção de um sinal de rádio, um contato tão suave quanto um beijo. É construtivo examinarmos um ou dois casos do passado para dosarmos nossas expectativas. Entre as revoluções americana e francesa, Luís XVI de França equipou uma expedição ao Oceano Pacífico, uma viagem de objetivos científicos, geográficos, econômicos e nacionalistas. O comandante era o Conde de La Pérouse, um explorador notável que tinha lutado pelos Estados Unidos na Guerra da Independência. Em julho de 1786, quase um ano após a partida, ele atingiu a costa do Alaska, em um lugar hoje chamado de Baía de Lituya. O conde ficou encantado com a Baía e escreveu: "Nenhum porto no universo poderia proporcionar maiores conveniências". Neste local exemplar, La Pérouse:

percebeu alguns selvagens, que fizeram sinais amistosos, desenrolando e acenando com mantas brancas e peles

diferentes. Várias canoas destes índios estavam sendo utilizadas para pesca na baía... Fomos continuamente cercados pelas canoas dos selvagens, que nos ofereceram peixes, peles de lontra do mar, e de outros animais, e outros pequenos artigos de seus vestuários em troca do nosso ferro. Para nossa surpresa, pareceram acostumados ao comércio e regatearam com uma habilidade como a de qualquer comerciante da Europa.

Os nativos americanos conduziram negócios muito mais difíceis. Para aborrecimento de La Pérouse, também recorriam a pequenos roubos, principalmente objetos de ferro, mas uma vez foram os uniformes dos oficiais navais franceses, escondidos sob seus travesseiros, enquanto dormiam uma noite cercados por guardas armados — uma proeza digna de Harry Houdini. La Pérouse seguiu as ordens reais para conduzir-se em paz, mas queixou-se que os nativos "acreditavam que nossa paciência fosse inexaurível". Desdenhava a sociedade deles, mas nenhum dano sério foi feito por nenhuma das culturas à outra. Após abastecer seus dois navios, La Pérouse deixou a Baía de Lituya e nunca retornou. A expedição perdeu-se no Pacífico Sul em 1778; La Pérouse e quase todos os membros de sua tripulação pereceram.* Exatamente um século depois, Cowee, chefe dos Tlingits, relatou para um antropólogo canadense G. T. Emmons uma história do primeiro encontro dos seus ancestrais com o homem branco, uma narrativa transmitida somente por palavras. Os Tlingits não possuíam registros escritos, nem Cowee jamais tinha ouvido sobre La Pérouse. Segue-se um parágrafo da história de Cowee:

No final da primavera, uma grande parte dos Tlingits se aventurou para o Norte, para Yakutat, a fim de comercializar cobre. O ferro era ainda mais precioso, mas não se conseguia obtê-lo. Quando entraram na Baía de Lituya, quatro embarcações foram engolidas pelas ondas. Quando os sobreviventes acamparam e choraram pelos seus companheiros mortos, dois objetos estranhos entraram na Baía. Ninguém sabia o que eram. Pareciam grandes pássaros pretos com asas brancas imensas. Os Tlingits acreditavam que o mundo tinha sido criado por um grande pássaro que, muitas vezes, assumia a forma de corvo, pássaro que tinha libertado o Sol, a Lua e as estrelas de caixas onde estavam aprisionados. Olhar para o Corvo significava virar pedra. No seu medo, os Tlingits fugiram para a floresta e se esconderam. Após alguns momentos, descobrindo que nada de mal tinha acontecido a eles, alguns mais intrépidos se arrastaram para fora e enrolaram

*Quando La Pérouse estava convocando a corporação do navio na França, houve muitos jovens brilhantes e corajosos que se ofereceram, mas foram rejeitados. Um deles era um oficial da artilharia corsa chamado Napoleão Bonaparte. É um ponto capital e interessante na história do mundo. Se La Pérouse tivesse aceito Bonaparte, a pedra de Roseta talvez nunca tivesse sido achada, Champollion nunca tivesse descrito os hieróglifos egípcios, e muitos aspectos importantes da nossa história recente talvez tivessem se alterado significativamente.



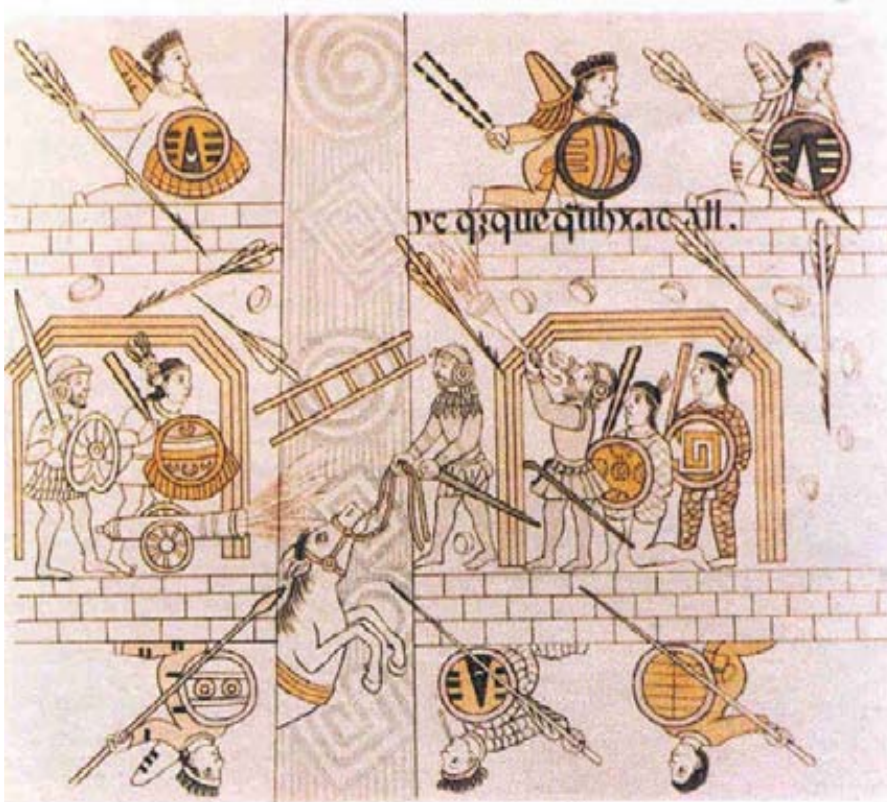
Habitantes Tlingits de Port Français (atual Lituya Bay, Alasca), onde Jean François de Galaup, Comte de La Pérouse (1741-c.1788), desembarcou em 1786. De L.M.R.D. Milet-Mureau, *Voyage de La Pérouse autour du monde*, 1797.

folhas de couve fedorenta em telescópios toscos, acreditando que isto evitaria serem transformados em pedra. Através da couve, parecia que os grandes pássaros batiam suas asas e que grupos de pequenos mensageiros pretos surgiam de seus corpos e moviam-se lentamente sobre suas penas.

Então um velho guerreiro quase cego reuniu o povo e anunciou que sua vida já tinha passado e, para o bem comum, ele determinaria se o Corvo viraria as crianças em pedras. Vestindo sua pele de lontra marinha, entrou em sua canoa e remou em direção ao Corvo. Subiu nele e ouviu vozes estranhas. Com sua visão prejudicada, ele pôde divisar as muitas formas escuras defronte dele. Talvez fossem pequenos corvos. Quando retornou a salvo ao seu povo, este se amontoou à sua volta, surpreso em vê-lo vivo. Tocaram-no e cheiraram-no para ver se era ele realmente. Após muito pensar, o velho homem convenceu-se de que não tinha sido o deus-corvo que ele havia visitado, mas uma canoa gigantesca feita por homens. Convenceu os Tlingits, que então visitaram os navios e trocaram suas peles por muitos artigos estranhos, principalmente ferro.

Os Tlingits preservaram, através da tradição oral, um registro inteiramente reconhecível e preciso do seu primeiro, quase que totalmente pacífico encontro com uma cultura estranha.*

*O relato de Cowee, o chefe Tlingit, mostra que mesmo em uma cultura sem escrita, o relato reconhecível de um contato com uma civilização avançada pode ser preservado por gerações. Se a Terra tivesse sido visitada há centenas ou milhares de anos por uma civilização extraterrestre avançada, mesmo se a cultura contactada não tivesse escrita, podíamos esperar uma forma reconhecível do encontro preservada. Mas não há um único caso no qual uma lenda digna de confiança datada das primeiras eras pré-tecnológicas possa ser entendida somente em termos de contato com uma civilização extraterrestre.



Visão asteca da conquista do México, século XVI. Cavalos e armas de fogo, incluindo o "grande canhão Lombardi", foram fatores importantes em sua total derrota por Cortés. De *Lienco Tlaxcala*. Cortesia UCLA Special Collection.

Se algum dia estabelecermos contato com uma civilização extraterrestre mais avançada, será um encontro em sua maior parte pacífico, mesmo se faltar um certo *rapport*, como com os franceses entre os Tlingits, ou seguirá um protótipo mais terrível, onde a sociedade um pouco mais avançada destrói totalmente a sociedade mais atrasada? No início do século XVI floresceu no México central uma alta civilização. Os astecas possuíam uma arquitetura monumental, elaborada manutenção de registros, arte primorosa e um calendário astronômico superior a qualquer um da Europa. Vendo os artefatos astecas trazidos pelo primeiro navio que voltou com os tesouros, o artista Albrecht Dürer escreveu, em agosto de 1520: "Nunca tinha visto até então nada que tivesse alegrado tanto o meu coração. Vi... um sol inteiramente de ouro em toda a sua extensão, na realidade o calendário astronômico asteca; também uma lua inteiramente de prata, igualmente grande... também duas câmaras cheias de todos os tipos de arma, armaduras e outras armas maravilhosas, todas elas as mais lindas e maravilhosas para se ver." Os intelectuais ficaram assombrados com os livros astecas, "os quais", disse um, "quase lembram os dos egípcios". Fernão Cortês descreveu sua capital, Tenochtitlán, como "uma das cidades mais belas do mundo... As atividades e comportamento do povo tinham quase o mesmo alto nível da Espanha, como eram também bem organizados. Considerando que este povo era bárbaro, sem conhecimento de Deus e sem comunicação com outras nações civilizadas, é notável observar-se tudo o que têm". Dois anos após escrever isto, Cortés destruiu Tenochtitlán totalmente, junto com o resto da civilização asteca. Aqui temos um registro asteca:

Montezuma, o imperador asteca, fica chocado e aterrorizado com o que ouviu. Ele estava preocupado com a co-

O Sol observa impassivelmente, enquanto os conquistadores e seus aliados mexicanos — um deles com seu capacete cerimonial de pássaro marinho — massacram os desanimados e pobremente armados astecas. Do *Lienzo Tlaxcala*. Cortesia UCLA Special Collection.



mida, mas o que o fez quase desmaiar foi a narração como o grande canhão lombardo, sob o comando espanhol, expeliu o tiro que trovejou quando caiu. O barulho nos enfraqueceu, nos provocou vertigens. Algo como uma pedra veio para fora em uma chuva de fogo e faíscas. E o tiro, que atingiu uma montanha, partiu-a em pedaços, destruiu-a. Reduziu uma árvore a serragem, a árvore desapareceu como se tivesse explodido. Quando contaram isto a Montezuma, ele foi tomado pelo terror. Empalideceu. Seu coração falhou.

Os registros continuaram a chegar. "Não somos tão fortes quanto eles", disseram a Montezuma. "Não somos nada comparados a eles". Os espanhóis começaram a ser chamados de "os Deuses que vieram dos Céus". Contudo, os astecas não tinham ilusões sobre os espanhóis, que descreveram assim:

Apossaram-se do ouro como se fossem macacos, suas faces brilhando. Sua sede pelo ouro não podia ser satisfeita, tinham fome dele, cobiçaram-no; queriam encher-se dele como se fossem porcos. Vagueavam tocando tudo com os dedos, subiam os rios à cata de ouro, movendo-se para frente e para trás, agarrando-o para eles, murmurando, tagarelando entre eles.

Mas o seu discernimento do caráter espanhol não os ajudou a se defenderem. Em 1517 um grande cometa tinha sido visto no México. Montezuma, enredado pela lenda sobre o retorno do deus asteca Quetzalcoatl como um homem de pele branca chegando pelo mar leste, executou prontamente seus

astrólogos. Eles não tinham previsto o cometa e não o tinham explicado. Certo do desastre iminente, Montezuma tornou-se distante e triste. Ajudados pela superstição dos astecas e pela sua própria tecnologia superior, um grupo armado de 400 europeus e seus aliados nativos no ano de 1521 conquistou inteiramente e destruiu totalmente uma civilização superior de um milhão de pessoas. Os astecas nunca tinham visto um cavalo, pois não havia nenhum no Novo Mundo. Não tinham inventado armas de fogo, embora o hiato tecnológico entre eles e os espanhóis não fosse muito grande, talvez de alguns séculos.

Devemos ser a sociedade tecnológica mais atrasada da Galáxia. Uma sociedade ainda mais atrasada não teria a radioastronomia. Se a experiência mais triste do conflito cultural na Terra fosse um padrão galáctico, nós já estaríamos destruídos, talvez com alguns momentos passageiros expressos por Shakespeare, Bach e Vermeer. Mas isto não aconteceu. Talvez as intenções alienígenas sejam descompromissadamente benignas, mais para La Pérouse do que para Cortés. Ou talvez, a despeito de todas as pretensões sobre UFOs e antigos astronautas, a nossa civilização não tenha sido ainda descoberta?

Por um lado argumentamos que, mesmo se uma pequena fração de civilizações técnicas aprendesse a viver consigo mesmas e com as armas de destruição em massa, haveria agora um número enorme de civilizações avançadas na Galáxia. Já possuímos vôos interestelares lentos e pensamos sobre os mais rápidos como um possível objetivo para a espécie humana. Por outro lado, sustentamos que não há evidências críveis de que a Terra seja visitada agora ou nunca. Isto não é uma contradição? Se a civilização mais próxima está, por exemplo, a 200 anos-luz, levaremos somente 200 anos para vir de lá até aqui a uma velocidade próxima à da luz. Mesmo a um por cento ou um décimo por cento da velocidade da luz, seres de civilizações próximas podiam ter vindo durante o mandato da humanidade na Terra. Porque não estão aqui? Há muitas respostas possíveis. Embora seja contrário à herança de Aristarco e Copérnico, talvez sejamos os primeiros. Alguma civilização técnica deve ser a primeira a emergir na história da Galáxia. Talvez estejamos enganados em nossa crença de que, pelo menos, civilizações ocasionais evitam a autodestruição. Talvez haja algum problema imprevisto no vôo espacial interestelar — embora a velocidades bem menores do que a da luz é difícil ver qual será este impedimento. Ou talvez estejam aqui, mas escondidos por causa de alguma *Lex Galactica*, alguma ética de não interferência em civilizações emergentes. Podemos imaginá-los, curiosos e imparciais, nos observando, enquanto nós olhamos para uma cultura de bactérias em um recipiente com ágar, para determinar se, mais uma vez este ano, conseguiremos evitar a autodestruição.

Há uma outra explicação consistente com tudo o que sabemos. Se há muitos anos uma grande civilização espacial interestelar emergiu a 200 anos-luz, não haveria razão para pensar que havia algo especial sobre a Terra, a menos que já estivessem aqui antes. Nenhum artefato da tecnologia humana, nem nossas radiotransmissões, teriam tido tempo, mesmo viajando com a

velocidade da luz, para ir a 200 anos-luz. Deste ponto de vista, todos os sistemas estelares próximos são mais ou menos igualmente atraentes para a exploração ou colonização.*

Uma civilização técnica emergente, após explorar seu sistema planetário natal e desenvolver o vôo espacial interestelar, deve começar lentamente, e por tentativas, a explorar as estrelas próximas. Algumas estrelas não possuem planetas adequados, talvez sejam todos mundos gigantes de gás ou diminutos asteróides. Outros fariam um levantamento de planetas adequados, mas alguns já estariam habitados, ou a atmosfera seria venenosa ou o clima desconfortável. Em muitos casos, os colonizadores teriam que mudar — ou, como diríamos paroquialmente, reformar um mundo para fazê-lo adequadamente clemente. A reconstrução de um planeta levará tempo. Ocasionalmente, é encontrado e colonizado um mundo já adequado. A utilização dos recursos planetários, de modo que novas naves espaciais interestelares possam ser construídas no local, é um processo lento. Eventualmente uma segunda geração da missão de exploradores e colonizadores partirão para as estrelas onde ninguém esteve antes. E, deste modo, uma civilização dirige seu caminho como uma videira entre os mundos.

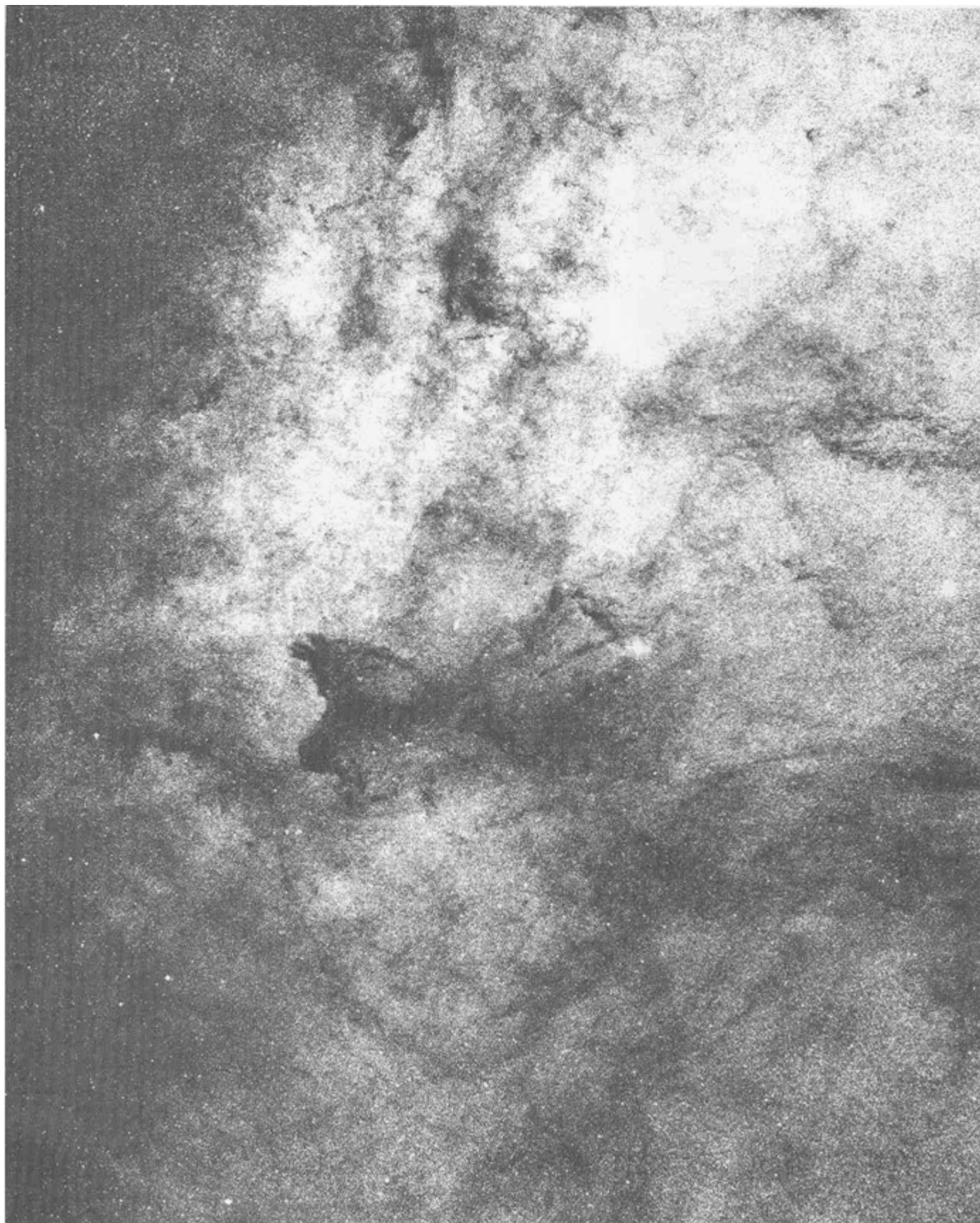
É possível que em um tempo depois, em uma terceira e mais alta ordem de colônias desenvolvendo-se em novos mundos, seja descoberta outra civilização independente em expansão. Contatos mútuos já terão ocorrido pelo rádio ou outro meio remoto. As novas vindas serão um tipo diferente de sociedade colonial. Duas civilizações em expansão com necessidades diferentes possivelmente ignorarão uma a outra, seus padrões mais sutis de expansão se autoconquistando, mas não conflitando. Devem cooperar na exploração de uma província da Galáxia. Mesmo civilizações próximas podem gastar milhões de anos nestas aventuras coloniais para separar ou unir sem nunca se deparar com o nosso obscuro sistema solar.

Possivelmente nenhuma civilização pode sobreviver a uma fase espacial interestelar, a menos que limite seus gastos. Qualquer sociedade com uma acentuada expansão populacional será forçada a dedicar todas as suas energias e habilidades tecnológicas para alimentar e cuidar da população em seu planeta natal. É uma conclusão muito razoável e não está de modo algum baseada em idiosincrasias de uma civilização particular. Em nenhum planeta, não importa seu sistema biológico ou social, um aumento exponencial na população consumirá todos os recursos. Inversamente, qualquer civilização que se engajar em uma exploração e colonização interestelar será adestrada seu crescimento populacional em zero ou próximo a isto por muitas gerações. Mas uma civilização com um ritmo de crescimento populacional baixo levará muito tempo para

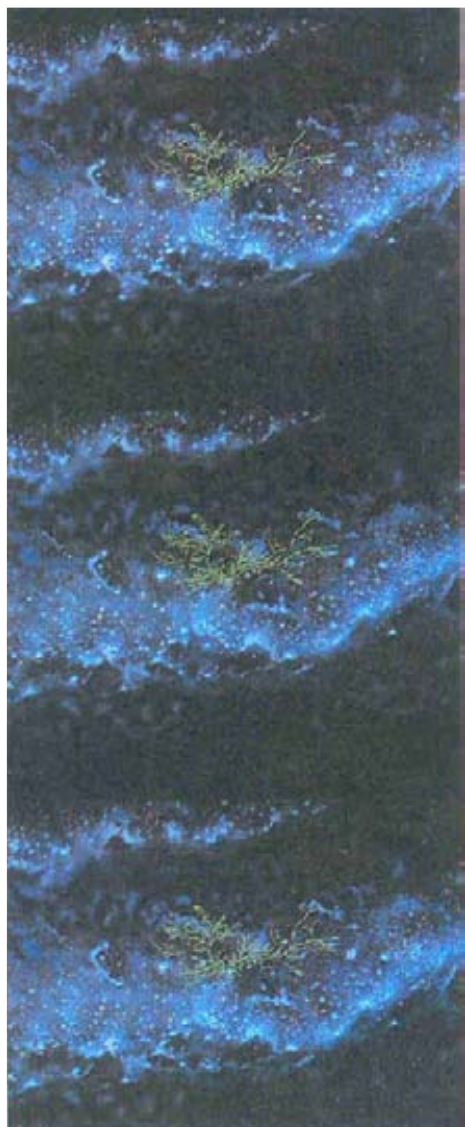


Representação esquemática de uma civilização tecnicamente avançada que reconstrói seu sistema solar em um revestimento esférico de matéria circundando o Sol local, de modo que a luz estelar valiosa não seja, em sua maior parte, perdida no espaço. Criação de Jon Lomberg.

*Há muita motivação para se ir às estrelas. Se o nosso Sol ou uma estrela próxima estiver para entrar em supernova, um grande programa de vôo espacial interestelar torna-se repentinamente atraente. Se estivéssemos muito avançados, a descoberta que o núcleo galáctico estava iminentemente para explodir poderia gerar até um interesse sério no vôo transgaláctico ou intergaláctico. Uma violência cósmica dessa ocorre com uma frequência suficiente, de modo que civilizações espaciais nômades podem não ser incomuns. Mesmo assim, sua chegada aqui permanece improvável.



Uma grande nuvem estelar na constelação de Sagitário, olhando-se na direção do centro da Via-láctea. As faixas de poeira que a obscurecem contêm moléculas orgânicas; algumas delas abrangem estrelas nos estágios iniciais de formação. Nesta foto há cerca de um milhão de estrelas. De acordo com as estimativas deste capítulo, uma delas é o Sol de uma civilização mais avançada do que a nossa. Cortesia dos Hale Observatories.



Três fotogramas de um filme mostrando a difusão, através de uma pequena região da Galáxia, de uma civilização espacial interestelar capaz de viajar somente em distâncias de poucos anos-luz por missão. Talvez estabeleça uma colônia local que eventualmente se equipará para missões mais longínquas. Filme de Dov Jacobson.

colonizar muitos mundos, mesmo se as estruturas para um rápido crescimento populacional forem facilitadas após atingir algum Éden luxuriante.

Meu colega William Newman e eu calculamos que se há um milhão de anos uma civilização espacial com um baixo ritmo de crescimento populacional emergiu a duzentos anos-luz de distância, suas espaçonaves de inspeção estariam entrando em nosso sistema solar somente agora. Mas um milhão de anos é muito tempo. Se a civilização mais próxima for mais recente do que isto, ainda não deverão ter nos atingido. Uma esfera com duzentos anos-luz de raio contém 200.000 sóis e talvez um número comparável de mundos adequados para a colonização. Somente após 200.000 outros mundos terem sido colonizados, no curso normal dos fatos, é que nosso sistema solar seria acidentalmente descoberto como abrigo de uma civilização natural.

O que significa para uma civilização ter um milhão de anos? Possuímos radiotelescópios e espaçonaves nas últimas décadas; nossa civilização técnica tem algumas centenas de anos, as idéias científicas de um tipo moderno alguns milhares, a civilização em geral poucas dezenas de milhares de anos; os seres humanos evoluíram neste planeta somente há poucos milhões de anos. Para qualquer coisa como o nosso ritmo atual de progresso técnico, uma civilização avançada de milhões de anos está muito além de nós, como estamos além de um pequeno arbusto ou de um macaco. Nem reconhecemos suas presenças. Uma sociedade com um milhão de anos à nossa frente estará interessada em colonizar ou em vôos espaciais interestelares? As pessoas possuem uma duração de vida finita por uma razão. O enorme progresso nas ciências biológicas e médicas pode encobrir esta razão e levar a medicamentos adequados. Será por isto que estamos tão interessados em vôos espaciais, por ser um meio de nos perpetuarmos além das nossas vidas? Uma civilização composta de seres essencialmente imortais consideraria uma exploração interestelar fundamentalmente uma criança? Talvez não tenhamos sido visitados porque as estrelas se derramam abundantemente na extensão do espaço, de modo que antes da civilização próxima chegar, ela terá alterado seus motivos exploratórios ou evoluído para formas indetectáveis a nós.

Um motivo padrão na ficção científica e na literatura de UFOs assume serem os extraterrestres tão capazes como nós. Talvez tenham um tipo diferente de espaçonave ou raios, mas em uma batalha — e a ficção científica adora descrever batalhas entre civilizações — nós e eles competimos igualmente. Na verdade, não há quase chance de duas civilizações galácticas interagirem no mesmo nível. Em qualquer confronto, uma quase sempre dominará inteiramente a outra. Um milhão de anos é muita coisa. Se uma civilização avançada estiver para chegar em nosso sistema solar, não haverá nada que possamos fazer a respeito. Sua ciência e tecnologia estarão muito além de nós. É perda de tempo preocuparmo-nos com as possíveis intenções malévolas de uma civilização avançada com a qual deveremos estabelecer contato. É mais provável que, se sobreviveram tanto tempo, isto signifique que tenham aprendido a viver com eles

mesmos e com os outros. Talvez nossos receios sobre um contato extraterrestre sejam meramente uma projeção de nosso próprio passado, uma expressão da nossa consciência culpada pela nossa história anterior, a destruição de civilizações só um pouco mais atrasadas do que a nossa. Lembramos Colombo e os Arawaks, Cortés e os Astecas, mesmo o destino dos Tlingits nas gerações pós-La Pérouse. Lembramo-nos e preocupamo-nos. Mas se uma armada interestelar aparecer em nossos céus, prevejo que seremos muito obsequiosos.

É muito mais provável um tipo bem diferente de contato — o caso que já discutimos, no qual recebemos uma mensagem complexa e rica, provavelmente pelo rádio, de outra civilização no espaço, mas não estabelecemos, pelo menos por um tempo, um contato físico com ela. Neste caso não há como a civilização transmissora saber se recebemos a mensagem. Se acharmos o conteúdo ofensivo ou assustador, não seremos obrigados a responder. Mas se a mensagem contiver uma informação valiosa, as consequências para a nossa própria civilização serão espantosas — visões de ciência, tecnologia, arte, música, política, ética, filosofia e religião alienígenas, e acima de tudo, uma profunda desprovincialização da condição humana. Saberemos o que mais é possível.

Por partilharmos dos conhecimentos científicos e matemáticos com qualquer outra civilização, acredito que a compreensão da mensagem interestelar seja a parte mais fácil do problema. Convencer o Congresso dos Estados Unidos e o Conselho de Ministros da Rússia de empregarem recursos na procura da inteligência extraterrestre é o mais difícil*. Na verdade, as civilizações podem ser divididas em duas grandes categorias: uma, na qual os cientistas são incapazes de convencer os não-cientistas a autorizar uma pesquisa sobre a inteligência extraplanetária, na qual as energias são dirigidas exclusivamente para dentro e cujas percepções convencionais permanecem imutáveis e a sociedade vacila e se afasta das estrelas; e a outra categoria, na qual a grande possibilidade de um contato com outras civilizações é dividido por muitos, e uma pesquisa grandiosa é realizada.

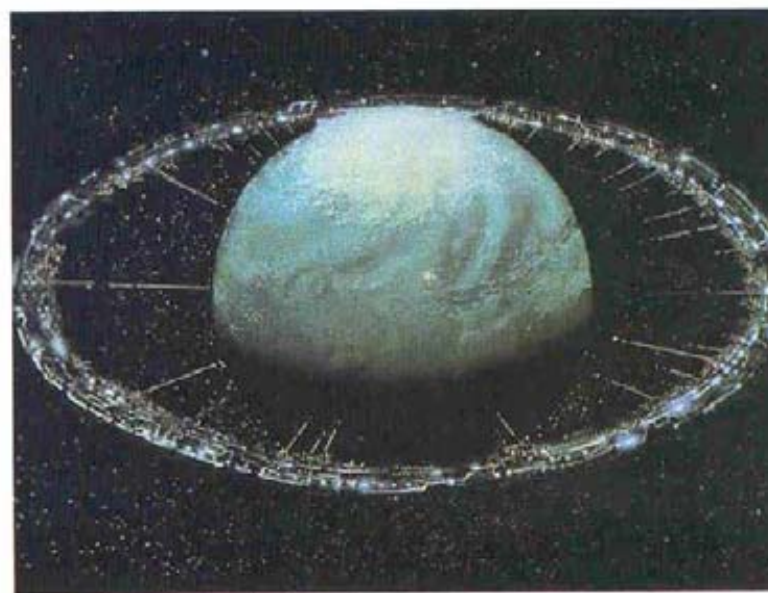
Este é um dos poucos esforços humanos onde mesmo um fracasso é um sucesso. Se fôssemos empreender uma pesquisa rigorosa de sinais de rádio extraterrestres compreendendo milhões de estrelas e não ouvíssemos nada, concluiríamos que as civilizações galácticas eram pelo menos extremamente raras, uma avaliação do nosso local no universo. Seria eloquente saber da raridade das coisas vivas do nosso planeta e isso enfatizaria, como nada mais na história da humanidade, o esforço individual de cada ser humano. Se fôssemos bem-sucedidos, a história da nossa espécie e do nosso planeta mudaria para sempre.

Seria fácil para os extraterrestres fazer uma mensagem interestelar claramente artificial. Por exemplo, os primeiros dez



Civilização colonial interestelar, difundindo de um sistema estelar para outro, em etapas comparativamente pequenas (verde), encontra outra civilização (vermelho), capaz de viagens maiores. Filme de Dov Jacobson.

*Ou outros órgãos nacionais. Consideremos este pronunciamento de um porta-voz do Departamento de Defesa Britânico registrado no *Observador* de Londres a 26 de fevereiro de 1978: "Quaisquer mensagens transmitidas do espaço exterior são da responsabilidade da BBC e do Telégrafo. É responsabilidade deles interromper as transmissões ilegais."



Mundos hipotéticos da *Encyclopaedia Galactica*. Acima, à esquerda e a direita: Um planeta e suas duas luas, suas superfícies destruídas por uma explosão em supernova próxima. Ao centro, à esquerda e à direita: mundo oceânico semelhante à Terra, com duas grandes luas. Abaixo, à esquerda: planeta terrestre com a sua principal rede de engenharia visível em seu lado noturno. Mais avançado do que nós, é um candidato a transmitir sua civilização através da nossa primeira radiomensagem interestelar. Abaixo, à direita: civilização ainda mais avançada constrói um sistema anelar habitável em torno do planeta-mãe. Criações, respectivamente, de Rick Sternbach, David Egge, Rick Sternbach, John Allison e Jon Lomberg.

Tipo de Civilização: 1,8 L.
Código de Sociedade: 2A11,
 "Os que Sobreviveram".
Estrela: FOV, espectro variável,
 $r = 9,717 \text{ kpc}$, $\theta = 00^{\circ}07'51''$,
 $\phi = 210^{\circ}20'37''$.
Planeta: sexto, $a = 2,4 \times 10^{13} \text{ cm}$,
 $M = 7 \times 10^{18} \text{ g}$, $R = 2,1 \times 10^9 \text{ cm}$,
 $p = 2,7 \times 10^6 \text{ s}$, $P = 4,5 \times 10^7 \text{ s}$.
Colônias extraplanetárias: nenhuma.
Idade do planeta: $1,14 \times 10^{17} \text{ s}$.
Primeiro contato localmente iniciado:
 $2,6040 \times 10^8 \text{ s}$ passados.
Recebimento da primeira acolhida galáctica
código: $2,6040 \times 10^8 \text{ s}$ passados.
Biologia: C,N,O,H,S,Se,Cl,Br,
 H_2O , S_8 , hálidos sulfonis
 poliaromáticos. Autotróficos sintéticos
 fotoquímicas móveis em uma atmosfera
 em leve redução.
 Politáxico, monocromático.
 $m \approx 3 \times 10^{12} \text{ g}$, $t \approx 5 \times 10^{10} \text{ s}$.
 Nenhuma prótese genética.
Genômios: $\sim 6 \times 10^7$ (bits/genômios
 não redundantes: $\sim 2 \times 10^{12}$).
Tecnologia: exponencialmente,
 aproximando-se do limite assintótico.
Cultura: global, não-gregária,
 poliespecífica (2 gêneros, 41
 espécies); poesia aritmética.
Pré-parto/pós-parto: 0,52 [30],
Individual/comunal: 0,73 [14],
Artística/tecnológica: 0,81 [18],
Probabilidade de sobrevivência
 (por 100 anos): 80%.

Tipo de Civilização: 2,3R.
Código de Sociedade: 1H1,
 "Os que se Fizeram".
Civilização interestelar, nenhuma
comunidade planetária,
 utiliza 1504 supergigantes,
 OV,BV,AV estrelas e pulsars.
Idade da Civilização: $6,09 \times 10^{15} \text{ s}$.
Primeiro contato localmente iniciado:
 $6,09 \times 10^{15} \text{ s}$ passados.
Recebimento da primeira acolhida galáctica
código $6,09 \times 10^{15} \text{ s}$ passados.
Fonte de civilização, canal de neutrino.
Grupo Local polilogo.
Biologia: C,H,O,Be,Fe,Ge,He.
 Semicondutores 4K metal-quelado
 orgânico, tipos variados.
Electrovores supercondutores
 criogênicos com cristal
 denso de nêutrons acondicionado e
starminers modulares; politáxico.
 m vários, $t \approx 5 \times 10^{15} \text{ s}$
Genômios: 6×10^{17} (bits não redundantes/
 genômios médios: $\sim 3 \times 10^{17}$).
Probabilidade de sobrevivência
 (por 10^6 anos): 99%.

Sumários computadorizados hipotéticos de duas civilizações avançadas da *Encyclopaedia Galactica*. Por Jon Lomborg e o autor.

números primos, números divisíveis somente por eles mesmos e por um — 1,2,3,5,7,11,13,17,19 e 23. É extremamente improvável que qualquer processo físico natural pudesse transmitir radiomensagens contendo somente números primos. Se recebêssemos uma mensagem assim, deduziríamos que uma civilização lá fora seria, no mínimo, apaixonada por números primos. Mas o caso mais provável é que uma comunicação interestelar será um tipo de palimpsesto como os dos antigos escribas de papiro ou pedra, que sobrepunham suas mensagens no começo de outras já existentes. Talvez em uma frequência adjacente ou em um ritmo mais rápido, houvesse uma outra mensagem que resultaria em ser a cartilha uma introdução à linguagem do discurso interestelar. A cartilha seria repetida várias vezes porque a civilização transmissora não teria como saber quando sintonizaríamos a mensagem. Então, mais profundamente no palimpsesto, depois do sinal de começo e da cartilha, viria a mensagem real. A radiotecnologia permite uma mensagem inconcebivelmente rica. Talvez quando sintonizarmos, descobrir-nos-emos no Volume 3.267 da *Encyclopaedia Galactica*.

Descobriríamos a natureza de outras civilizações. Haveria muitas delas, cada uma composta de organismos surpreendentemente diferentes de qualquer coisa neste planeta. Veriam o universo de uma maneira bem diferente. Teriam artes e funções sociais diferentes. Teriam interesse em coisas que jamais pensamos. Comparando nosso conhecimento com o deles, cresceríamos imensuravelmente. E com nossas informações recentemente adquiridas colocadas na memória de um computador, seríamos capazes de ver o tipo de civilização e onde estaria na Galáxia. Imaginemos um imenso computador galáctico, um repositório, mais ou menos atualizado, de informações sobre a natureza e atividades de todas as civilizações na Via-láctea, uma grande biblioteca da vida no Cosmos. Talvez entre os assuntos da *Encyclopaedia Galactica*, estivesse um grupo de sumários destas civilizações, uma informação enigmática, assustadora, evocativa, mesmo após termos conseguido traduzi-la.

Eventualmente, tendo o tempo que quiséssemos, decidiríamos responder. Transmitiríamos alguma informação sobre nós mesmos, somente o básico a princípio, como o início de um longo diálogo interestelar que começaria, mas que, pela vasta distância do espaço interestelar e pela velocidade finita da luz, seria continuado pelos nossos descendentes remotos. E algum dia, em um planeta de alguma estrela bem distante, um ser bem diferente de qualquer de nós requereria um impresso da última edição da *Encyclopaedia Galactica* e adquiriria um pouco de informação sobre a mais nova sociedade a se unir à comunidade das civilizações galácticas.

Tipo de Civilização: 1,0J.
 Código de Sociedade: 4G4, "Humanidade".
 Estrela: G2V, $r = 9,844 \text{ kpc}$, $\theta = 00^{\circ}05'24''$, $\phi = 206^{\circ}28'49''$.
 Planeta: terceiro, $a = 1,5 \times 10^{13} \text{ cm}$,
 $M = 6 \times 10^{27} \text{ g}$, $R = 6,4 \times 10^8 \text{ cm}$,
 $p = 8,6 \times 10^4 \text{ s}$, $P = 3,2 \times 10^7 \text{ s}$.
 Colônias extraplanetárias: nenhuma.
 Idade do planeta: $1,45 \times 10^{17} \text{ s}$.
 Primeiro contato localmente iniciado:
 $1,21 \times 10^9 \text{ s}$ atrás.
 código: aplicação pendente.
 Biologia: C,N,O,S,H₂O, PO₄.
 Ácido desoxirribonucléico.
 Nenhuma prótese genética.
 Heterotróficos móveis, simbioses com autotróficos fotossintéticos.
 Habitantes da superfície, monoespecífico, respiradores policromáticos O₂.
 Tetrapiroles fe-quelatos no fluido circulatório. Mamíferos sexuais.
 $m \approx 7 \times 10^4 \text{ g}$, $t \approx 2 \times 10^9 \text{ s}$.
 Genômios: 4×10^9 .
 Tecnologia: exponencial/
 combustíveis fósseis/armas nucleares/máquina de guerra organizada/poluição ambiental.
 Cultura: ~200 estados-nações,
 ~ 6 poderes globais; homogeneidade cultural e tecnológica sob controle.
 Pré-parto/pós-parto: 0,21 [18],
 Individual/comunal: 0,31 [17],
 Artística/tecnológica: 0,14 [11].
 Probabilidade de sobrevivência (por 100 anos): 40%.

Sumário hipotético de uma civilização técnica recentemente surgida da *Encyclopaedia Galactica*.
 Por Jon Lomberg e o autor.



Um emissário da Terra: a Apoio 14 em posição na noite anterior ao seu lançamento à Lua. A mesma tecnologia nuclear e espacial que, utilizada erroneamente, pode provocar um holocausto global, também é capaz de nos transportar aos planetas e estrelas. Foto de Dennis Milton.



Capítulo XIII

QUEM RESPONDE PELA TERRA?

Com que propósito devo-me preocupar com a procura dos segredos das estrelas, tendo a morte e a escravidão continuamente diante dos meus olhos?

— Pergunta feita a Pitágoras por Anaximenes (em torno de 600 A.C.) — segundo Montaigne

Quão vastos devem ser estes Astros e quão inconsiderável é esta Terra, o Teatro no qual todos os nossos Desígnios, todas as nossas Navegações e todas as nossas Guerras são negociadas, quando comparada a eles. Uma consideração muito apropriada e matéria de Reflexão, para Reis e Príncipes que sacrificam as Vidas de tantas Pessoas, somente para exaltar sua Ambição em serem Senhores de alguma esquina lastimável deste pequeno Ponto.

— Christiaan Huygens, *Novas Conjecturas Concernentes aos Mundos Planetários, seus Habitantes e Produtos*, em torno de 1690

"Para o mundo inteiro", disse nosso Pai o Sol, "dou minha luz e meu brilho"; dou aos homens calor quando eles sentem frio; faço seus campos frutificarem e seu gado multiplicar; cada dia que passa, giro em torno do mundo para assegurar um melhor conhecimento das necessidades dos homens e para satisfazer essas necessidades. *Sigam meu exemplo*".

— Mito inca registrado em "Comentários Reais" de Garcilaso de la Vega, 1556

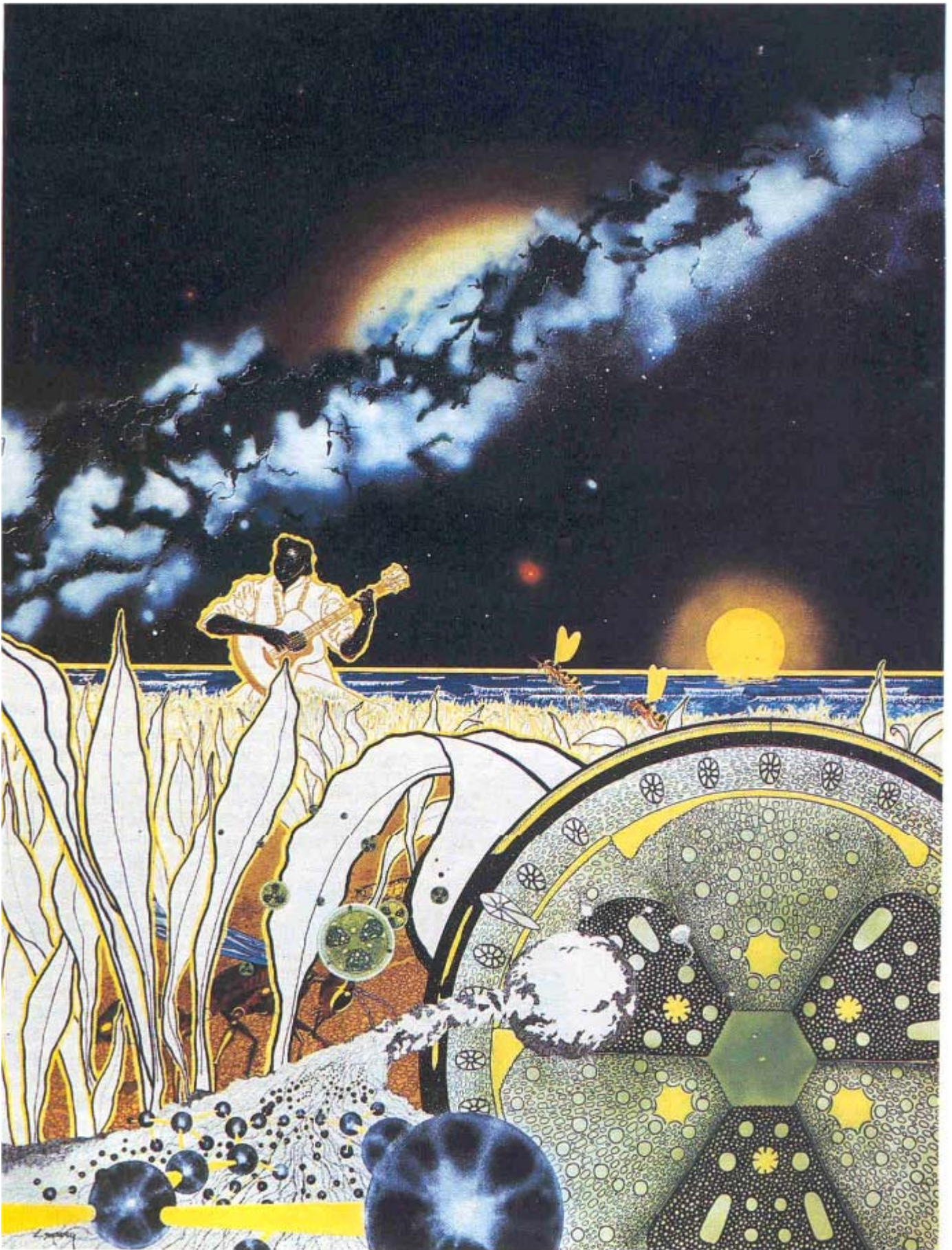
Olhamos para trás através de milhões de anos sem conta e vemos a grande vontade de viver por entre os lodos das marés, esforçando-se de forma para forma e de poder a poder, arrastando-se e então andando com confiança sobre a terra, forçando geração após geração a dominar o ar, arrastando na escuridão das profundezas; nós a vemos girando sobre si mesma em fúria e ansiosa e reformando-se outra vez, nós a olhamos se arrastando para mais próximo e mais semelhante a nós, expandindo-se, perseguindo seu propósito inconcebível e inexorável, até pelo menos nos atingir e a sua existência pulsando em nossos cérebros e artérias... É

possível acreditar que todo o passado seja o começo de um começo, e tudo o que é e tem sido nada mais é do que o crepúsculo do amanhecer. É possível acreditar que tudo o que a mente humana jamais realizou nada mais é do que o sonho antes do despertar... Fora da nossa... linhagem, as mentes saltarão e nos atingirão de volta em nossa insignificância para nos conhecer melhor do que nós nos conhecemos. Dia virá, um dia na sucessão sem fim de dias, quando seres agora latentes em nossos pensamentos e escondidos em nossas costas, se levantarão sobre esta Terra como se fica em pé sobre um escabelo, e rirão e tocarão suas mãos no meio das estrelas.

— H. G. Wells, "A Descoberta do Futuro", *Nature* 65, 326 (1902)

O COSMOS FOI DESCOBERTO SOMENTE ONTEM. Por um milhão de anos era claro para todos que não havia outros locais senão a Terra. Então no último décimo por cento da duração da vida da nossa espécie, no instante entre Aristarco e nós, relutantemente notamos que não somos o centro e o propósito do universo, mas vivemos em um mundo diminuto e frágil perdido na imensidão e eternidade, impelido em um grande oceano cósmico salpicado aqui e ali com cem bilhões de galáxias e um bilhão de trilhão de estrelas. Bravamente testamos as águas e descobrimos que o oceano era como queríamos, consoante com a nossa natureza. Algo em nós reconhece o Cosmos como o lar. Somos feitos de cinza estelar. Nossa origem e evolução está ligada a eventos cósmicos distantes. A exploração do Cosmos é uma viagem de autodescoberta.

Como os antigos fazedores de mitos sabiam, somos crianças igualmente do céu e da Terra. Em nosso título de posse neste planeta acumulamos uma bagagem evolucionária perigosa, propensões hereditárias para a agressão e o ritual, submissão aos líderes e hostilidade aos estranhos, que colocam nossa sobrevivência em questão. Mas também adquirimos compaixão pelos outros, amor pelas nossas crianças e pelas crianças das nossas crianças, um desejo para aprender através da história, e uma grande inteligência impetuosa e desmedida—as ferramentas óbvias para a continuação da nossa sobrevivência e prosperidade. Quais os aspectos da nossa natureza que prevalecerão não sabemos, particularmente quando nossa visão, compreensão e perspectivas estão limitadas exclusivamente à Terra, ou pior, a uma pequena parte dela. Mas lá em cima, na imensidão do Cosmos, uma perspectiva inescapável nos espera. Não há ainda sinais óbvios de inteligência extraterrestre, e isto nos faz ter curiosidade em saber se as civilizações como a nossa sempre correm de modo implacável e imprudente para a autodestruição. As fronteiras nacionais não são evidentes quando vemos a Terra do espaço. Chauvinismos fanáticos nacionais, religiosos ou étnicos são um pouco difíceis de serem mantidos quando vemos nosso planeta como um frágil e pálido crescente azul, tornando-se um ponto imperceptível de luz contra o baluarte e cidadela de estrelas. Viajar é ampliar.



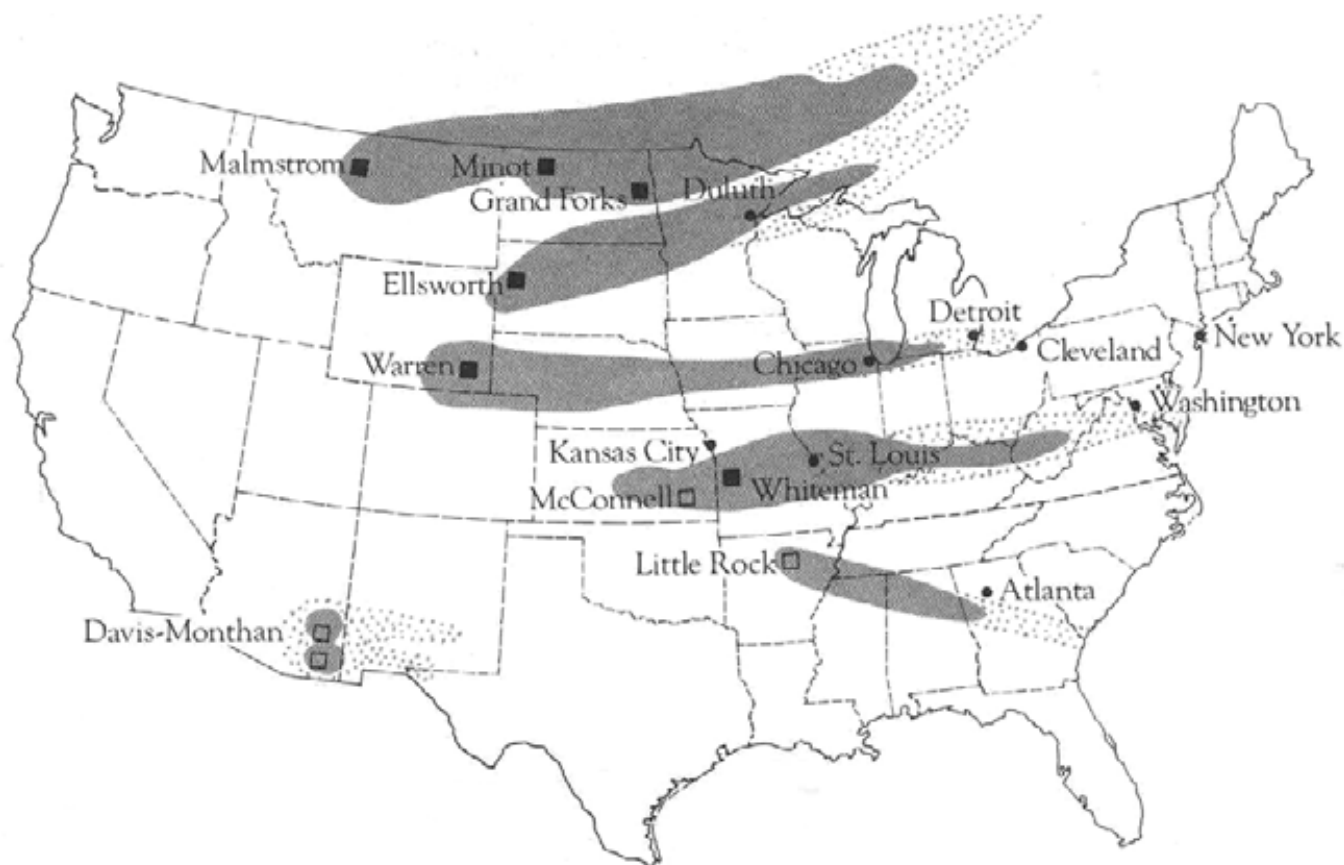
A Grande Cadeia da Vida. Entre átomos e flocos de neve na escala dos diminutos, e o Sol e as galáxias na dos imensos, os seres humanos estão crescendo em direção a uma conscientização do seu lugar no Cosmos. Criação

Há mundos onde a vida nunca surgiu. Há mundos que foram reduzidos a carvão e arruinados por catástrofes cósmicas. Somos afortunados: estamos vivos; somos poderosos; o bem-estar da nossa civilização e da nossa espécie está em nossas mãos. Se não nos responsabilizarmos pela Terra, quem o fará? Se não nos comprometermos pela nossa responsabilidade, quem o fará?

A espécie humana está agora empreendendo uma grande aventura que, se bem-sucedida, será tão importante quanto a colonização da Terra ou a descida das árvores. Estamos rompendo as algemas da Terra através de tentativas e devagar — metaforicamente, confrontando e subjugando as admoestações dos cérebros mais primitivos em nós; fisicamente, viajando para os planetas e ouvindo as mensagens das estrelas. São dois empreendimentos indissoluvelmente ligados. Acredito que cada um seja uma condição necessária para o outro. Mas as nossas energias estão dirigidas mais para a guerra. E porque o que estamos fazendo é tão horrível, nossa tendência é não pensar muito a respeito. Mas o que fazemos, quando não as consideramos, provavelmente não as endireitarão.

Toda pessoa que pensa, teme uma guerra nuclear, e todo estado tecnológico a planeja. Todos conhecem a sua loucura, e todas as nações possuem desculpas. Há uma triste cadeia de causalidade: os alemães estavam trabalhando a bomba no início da Segunda Guerra Mundial, de modo que os americanos tiveram que fazer uma primeiro. Se os americanos possuíram uma, os russos tinham que ter também, como os ingleses, franceses, chineses, indianos, paquistaneses... No final do século vinte, muitas nações terão coligido armas nucleares. São fáceis de serem projetadas. O material de fissão pode ser roubado dos reatores nucleares. As armas nucleares se tornarão quase que uma indústria de mão-de-obra caseira.

As bombas convencionais da Segunda Guerra Mundial eram chamadas de arrasa-quarteirão. Cheias com vinte toneladas de TNT podiam destruir um quarteirão de uma cidade. Todas as bombas, que caíram sobre todas as cidades na Segunda Guerra Mundial, somam a dois milhões de toneladas, dois megatons de TNT — Coventry e Roterdã, Dresden e Tóquio, toda a morte que choveu dos céus entre 1939 e 1945: cem mil arrasa-quarteirões, dois megatons. Mas no fim do século vinte, dois megatons foi a energia liberada na explosão de uma única bomba termonuclear mais ou menos monótona: uma bomba com a força destrutiva da Segunda Guerra Mundial. E existem dezenas de milhares de armas nucleares. Pela nona década do século vinte, os mísseis estratégicos e os bombardeiros da União Soviética e dos Estados Unidos estarão dirigindo suas ogivas para mais de 15.000 alvos designados. Nenhum lugar do planeta será seguro. A energia contida nestas armas, gênios da morte aguardando pacientemente o acender das lâmpadas, é bem mais do que 10.000 megatons, mas com a destruição concentrada eficientemente, não por seis anos, mas sim por algumas horas, um arrasa-quarteirão para cada família do planeta, uma Segunda Guerra Mundial a cada segundo de uma tarde preguiçosa.



As causas imediatas da morte por um ataque nuclear são as ondas de vento, que podem achatar pesadamente edifícios reforçados por muitos quilômetros, a tempestade de fogo, os raios gama e os nêutrons, que efetivamente cozinham as entranhas dos transeuntes. Uma estudante que sobreviveu ao ataque nuclear americano em Hiroshima, o evento que terminou com a Segunda Guerra Mundial, escreveu seu relato em primeiramao:

Em uma escuridão como o fundo do inferno, podia ouvir as vozes de outros estudantes chamando por suas mães. Na base da ponte, dentro de uma grande cisterna que tinha sido cavada, estava uma mãe chorando, segurando acima da sua cabeça um bebê nu queimado, em carne viva no corpo inteiro. E outra mãe estava chorando e soluçando enquanto procurava dar sua respiração reduzida para o seu bebê. Na cisterna os estudantes estavam com somente as cabeças acima da água, e suas duas mãos unidas enquanto choravam e gritavam implorando por seus pais. Mas cada pessoa que passava estava ferida, todas elas, e não havia ninguém que se virasse para ajudar. E o cabelo chamuscado nas cabeças estava crespo e esbranquiçado, coberto de poeira. Não pareciam seres humanos, nem criaturas deste mundo.

A explosão de Hiroshima, diferente da subsequente em Nagasaki, foi uma explosão de ar bem acima da superfície, de

Consequências de uma guerra nuclear. Dos 15.000 alvos em uma total permuta nuclear, estes mísseis balísticos intercontinentais, Titan e Minuteman, situados no meio-oeste americano, são alvos prováveis de explosões de superfície de um par de bombas termonucleares de um megaton. A energia liberada somente por estas duas explosões causaria a mesma destruição provocada no mundo inteiro por todas as aeronaves da Segunda Guerra Mundial. A nuvem de debris radioativos seria espalhada pelas correntes de ventos dominantes em direção à costa leste dos Estados Unidos, o mesmo caminho seguido pelos debris vulcânicos do Monte Santa Helena, após a sua erupção em 1980. O contorno externo mostra a área na qual os desastres excederão a 50% decorrentes da radioatividade. Horrores comparáveis poderão ser constatados na União Soviética por duas explosões de um megaton, por exemplo, na Ucrânia Ocidental. Cortesia do *Scientific American*. Do *Limited Nuclear War*, de Sidney D. Drell e Frank Von Hippel. Copyright © 1976 by Scientific American. Todos os direitos reservados.

modo que o acontecimento foi insignificante. Mas, a primeiro de março de 1954, um teste de armas termonucleares em Bikini, nas ilhas Marshall, detonou com uma potência mais elevada do que o esperado. Uma grande nuvem radioativa foi depositada no pequeno atol de Rongalap, a 150 quilômetros de distância, onde os habitantes comparavam a explosão ao nascer do Sol no Ocidente. Poucas horas depois, caiu sobre Rongalap, como neve, uma cinza radioativa. A dose média recebida foi somente de 175 rads, um pouco menos da dose necessária para matar uma pessoa mediana. Estando longe do local da explosão, não morreram muitas pessoas. Naturalmente o estrôncio radioativo que eles comeram concentrou-se em seus ossos e o iodo radioativo em suas tiróides. Dois terços das crianças e um terço dos adultos desenvolveram posteriormente anormalidades da tiróide, retardamento mental ou tumores malignos. Em compensação, os ilhéus de Marshall receberam cuidados de peritos médicos.

A potência da bomba de Hiroshima era somente treze quilotons, o equivalente a treze mil toneladas de TNT. A potência do teste de Bikini foi de quinze megatons. Em uma troca nuclear total, no paroxismo da guerra termonuclear, o equivalente a um milhão de bombas de Hiroshima será derramado por todo o mundo. Considerando-se a taxa de mortalidade de Hiroshima — algumas centenas de milhares de pessoas mortas por arma equivalente a treze quilotons, aquela troca seria suficiente para matar cem bilhões de pessoas. Mas haverá menos de cinco bilhões de pessoas no planeta nos últimos anos do século vinte. Naturalmente nessa troca, nem todos seriam mortos pelas rajadas de vento e pela tempestade de fogo, pela radiação e pelo acontecimento em si, embora este vá durar mais tempo: 90% do estrôncio 90 cairão em 96 anos; 90% do cézio 137, em 100 anos; 90% do iodo 131, em *somente um mês*.

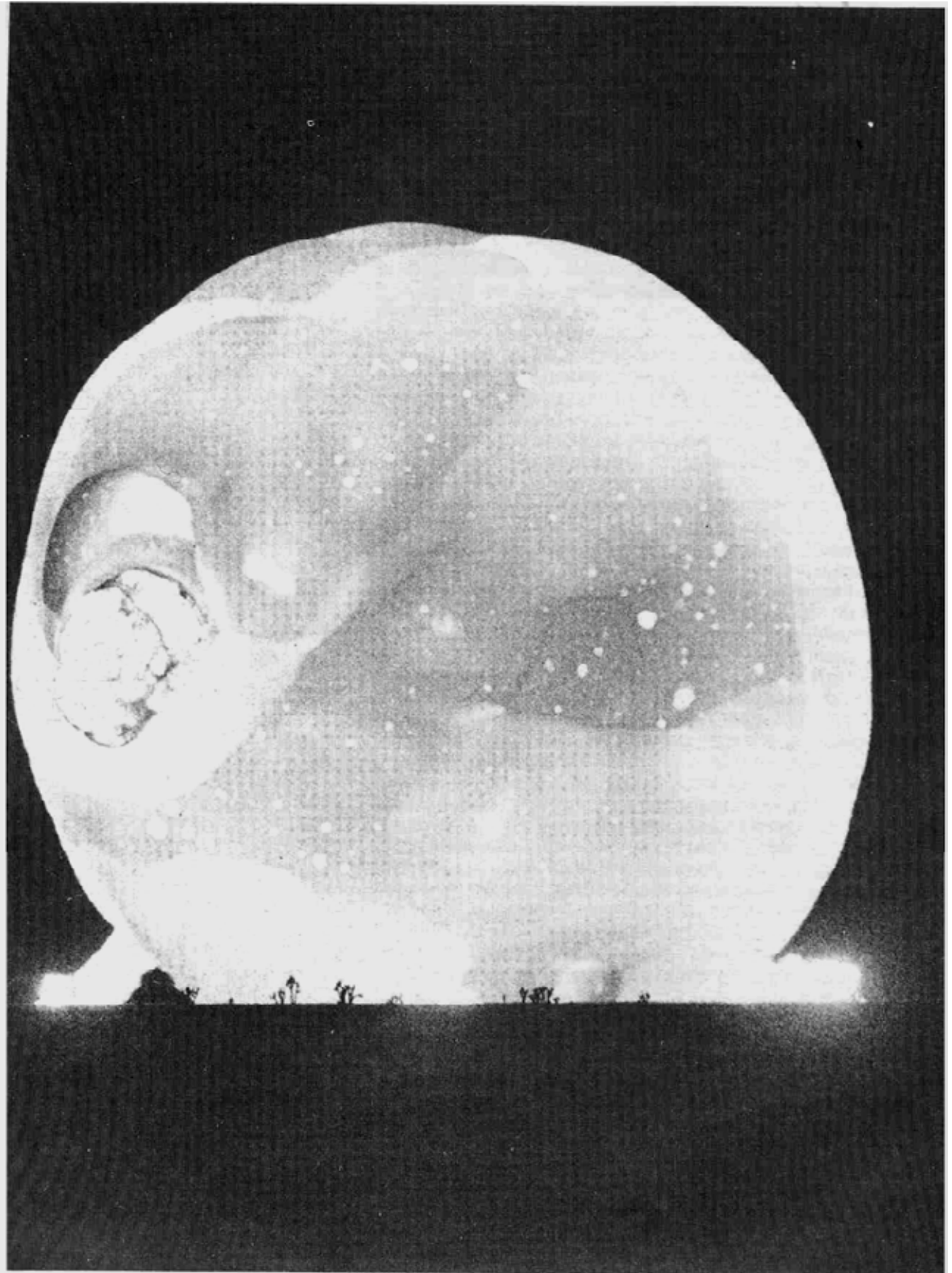
Os sobreviventes testemunhariam conseqüências mais sutis da guerra. Uma troca nuclear total queimaria o hidrogênio na camada superior, convertendo-o em óxidos de nitrogênio que, por sua vez, destroem uma quantidade significativa de ozônio na alta atmosfera, admitindo-se uma intensa dose de radiação ultravioleta solar.* O fluxo maior de ultravioleta perduraria por anos. Produziria câncer de pele, de preferência em pessoas de pele clara. Ainda mais importante, afetaria a ecologia do nosso planeta de uma maneira desconhecida. A luz ultravioleta destrói as colheitas. Muitos microrganismos seriam mortos, não sabemos quais ou quantos, ou quais seriam as conseqüências. Os organismos mortos podem, até onde sabemos, estar na base de uma vasta pirâmide ecológica, no topo da qual cambaleamos. A poeira despejada no ar em uma troca nuclear total refletiria a luz solar e esfriaria um pouco a Terra. Mesmo um pequeno resfriamento pode ter conseqüências desastrosas na agricul-

*O processo é semelhante à destruição da camada de ozônio, embora seja muito mais perigoso pelos propelentes de fluorocarbono contidos em latas de *sprays* em aerosol, os quais foram banidos em um acordo de várias nações; também é similar ao mencionado na explicação da extinção dos dinossauros por uma explosão em supernova há algumas dúzias de anos-luz.

tura. Os pássaros são mais facilmente mortos pela radiação do que os insetos. Pragas de insetos e conseqüentes distúrbios agrícolas posteriores são conseqüências prováveis de uma guerra nuclear. Há também um outro tipo de praga para nos preocuparmos: a praga de bacilos é endêmica por toda a Terra. Nos últimos anos do século vinte, não morrerão muito por causa das pragas — não por essas não existirem, mas pela sua alta resistência. Contudo, uma radiação produzida numa guerra nuclear, entre seus muitos outros efeitos, debilita o sistema imunológico corporal, causando uma deteriorização da nossa capacidade de resistir às doenças. A longo prazo haverá mutações, novas variedades de micróbios e insetos que poderão causar ainda mais problemas para os sobreviventes humanos de um holocausto nuclear; e talvez, após um tempo, quando for suficiente para as mutações recessivas se recombinarem e expressarem, surgiriam novas e horrorizantes variedades de humanos. A maioria destas mutações, quando expressa, seria letal. Poucos não as veriam. E então haveria outras agonias: a perda de entes queridos, as legiões de queimados, cegos e mutilados; doenças, pragas, venenos radioativos de longa duração no ar e na água; a ameaça de tumores, natimortos e crianças deformadas; ausência de cuidados médicos; a sensação sem esperança de uma civilização destruída para nada; a certeza de que poderíamos tê-la evitado e nada fizemos.

L. F. Richardson era um meteorologista inglês interessado em guerra. Queria entender suas causas. Há paralelos intelectuais entre a guerra e o tempo atmosférico. Ambos são complexos. Ambos exibem regularidades, implicando que não são forças implacáveis, mas sistemas naturais que podem ser compreendidos e controlados. Para entender o tempo global, devemos primeiro coletar uma grande massa de dados meteorológicos, devemos descobrir realmente como o tempo se comporta. Nossa aproximação deve ser a mesma, decidiu Richardson, se quisermos entender a guerra. Então, -ele colheu dados de centenas de guerras entre 1820 e 1945 que surgiram em nosso pobre planeta.

Os resultados de Richardson foram publicados postumamente em um livro chamado *The Statistics of Deadly Quarrels* [Estatísticas de Contendas Mortais]. Por estar interessado em quanto tempo temos que esperar por uma guerra que reivindique um número específico de vítimas, ele definiu um índice M, a magnitude da guerra, uma medida do número de mortes imediatas que ela causa. Uma guerra de magnitude $M = 3$ pode ser meramente uma escaramuça, matando somente mil pessoas (10^3). $M = 5$ ou $M = 6$ denotam guerras mais sérias onde cem mil (10^5) ou um milhão (10^6) de pessoas são mortas. As Primeira e Segunda Guerras Mundiais possuíram magnitudes maiores. Descobriu que quanto mais pessoas morrem em uma guerra, menos provável ela é de acontecer e mais tempo para ser testemunhada, assim como as tempestades violentas ocorrem com menos frequência do que pancadas d'água. Partindo destes dados, ele construiu um gráfico (pág. 327) que mostra quanto em média durante o século passado e metade deste esperamos para testemunhar uma guerra de magnitude M.





A forma sinistra da guerra nuclear: duas explosões nucleares. À esquerda: Foto tirada com filme de alta velocidade de uma onda de uma carga em expansão de uma bomba de fissão nuclear. Note as silhuetas das árvores. Cortesia de Harold Edgerton, Massachusetts Institute of Technology. À direita: a nuvem em forma de cogumelo da explosão termonuclear envia seu potencial radioativo para a estratosfera onde persistirá por anos. Cortesia de U. S. Department of Energy.

Richardson propôs que se continuarmos a curva para os valores pequenos de M , em direção a $M = 0$, preverá aproximadamente a incidência mundial de homicídios; em algum lugar do mundo alguém é morto a cada cinco minutos. As mortes individuais e a guerra em grande escala, disse ele, são duas extremidades de um contínuo, uma curva não interrompida que segue não somente em um sentido ordinário mas também, acredito eu, em um aspecto psicológico mais profundo, pois a guerra é uma ordem de assassinato amplo. Quando nossos entes queridos são mortos, quando nossas ilusões sobre nós mesmos são desafiadas, tendemos, pelo menos alguns, a nos precipitarmos em uma raiva assassina. E quando as mesmas provocações são aplicadas a nações, elas também parecem mergulhar em raiva homicida, incitados o suficiente pela busca ao lucro ou poder pessoal. Mas à medida que a tecnologia do assassinato se aperfeiçoa e os castigos da guerra aumentam, uma grande maioria é levada a mergulhar em uma raiva assassina para reunir-se em uma guerra maior. Uma vez que os órgãos de comunicação de massa estão muitas vezes nas mãos do Estado, isto comumente é arrumado. (A guerra nuclear é uma exceção. Pode ser iniciada por um número muito reduzido de pessoas.)

Vemos aqui um conflito entre nossas paixões e o que é algumas vezes chamado de nossos instintos mais puros; entre a parte reptiliana do cérebro, antiga e profunda, o complexo-R, responsável pela raiva assassina, e as partes mamífera e humana mais recentemente desenvolvidas, o sistema límbico e o córtex cerebral. Quando os seres humanos viviam em pequenos grupos, quando nossas armas eram comparativamente insignificantes, até um guerreiro enraivecido podia matar somente alguns. No mesmo intervalo, nós também nos aperfeiçoamos. Moderamos nossa cólera, frustração e desespero com a razão. Aperfeiçoamo-nos em uma escala planetária de injustiças que só recentemente se tornou global e endêmica. Nossas armas podem matar bilhões. Aperfeiçoamo-nos com rapidez suficiente? Estamos ensinando a razão tão eficazmente quanto podemos? Será que estudamos com coragem as causas da guerra?

O que freqüentemente é chamado de estratégia de desvio nuclear é importante para a confiança no comportamento de nossos ancestrais não humanos. Henry Kissinger, um político contemporâneo, escreveu: "O desvio depende, acima de tudo, dos critérios psicológicos. Com propósitos de desvio, um blefe levado a sério é mais útil do que um perigo sério interpretado como blefe". O blefe nuclear verdadeiramente eficaz, contudo, inclui atitudes ocasionais de irracionalidade, um afastamento dos horrores da guerra nuclear. Então o inimigo em potencial é tentado a submeter-se a pontos de disputa, mais do que desatar uma confrontação global, a qual a aura de irracionalidade tornou plausível. O perigo principal em adotar uma posição crível de irracionalidade é imbuir-se da pretensão de que nós somos muito bons. Após um tempo ela se gasta. Não é mais nem pretensão. O equilíbrio de terror, iniciado pelos Estados Unidos e pela Rússia, mantém como reféns os cidadãos da Terra. Cada lado

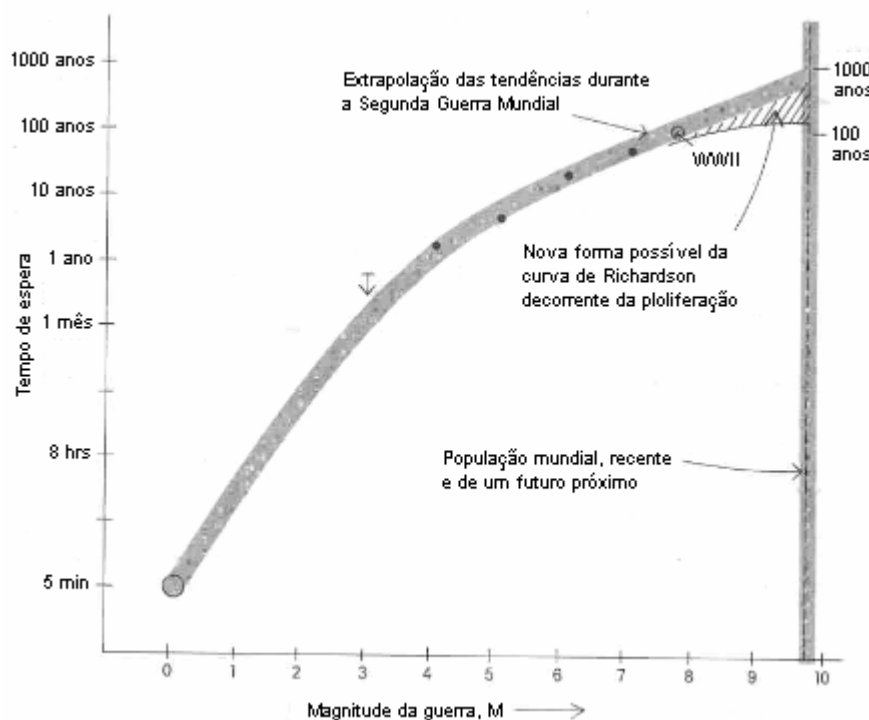


Diagrama de Richardson. O eixo horizontal representa a magnitude da guerra ($M = 5$ significa 10^5 pessoas mortas; $M = 10$ significa 10^{10} , isto é, todos os seres humanos do planeta). O eixo vertical representa o tempo despendido até que a guerra de grandeza M irrompa. A curva se baseia em registros coletados por Richardson em guerras que ocorreram entre 1820 e 1945. Uma simples extrapolação sugere que $M = 10$ não será atingido nos próximos mil anos ($1820 + 1000 = 2820$). Mas a proliferação das armas nucleares provavelmente diminuiu a curva (área sombreada), e o tempo de espera para o Dia do Juízo Final pode ser perigosamente menor. A forma da curva de Richardson está dentro do nosso controle, mas somente se os seres humanos se dispuserem a abraçar o desarmamento nuclear e reestruturar dramaticamente a comunidade planetária.

traça os limites do comportamento permitido ao outro. O inimigo em potencial é avisado de que, se o limite for transgredido, terá início uma guerra nuclear. Contudo, a definição do limite muda de tempos em tempos. Cada lado confia que o outro entenda. Cada um é tentado a aumentar sua vantagem militar, mas não de modo chocante a ponto de alarmar seriamente o outro. Cada lado explora continuamente os limites da tolerância do outro, como nos vôos de bombas nucleares sobre os desertos árticos; a crise cubana de mísseis; o teste de armas anti-satélites; as guerras do Vietnã e do Afeganistão, alguns itens de uma longa e dolorosa lista. O equilíbrio global do terror é muito delicado. Depende que as coisas corram bem, que não haja erros e que as nossas paixões reptilianas não surjam com muita força.

Retornamos a Richardson. No diagrama a linha contínua é o tempo de espera para uma guerra de magnitude M , isto é, a média de tempo que teremos que esperar para testemunhar uma guerra que mata 10^M de pessoas (onde M representa o número de zeros após o um, em nosso expoente aritmético comum). Também mostra na barra vertical, à direita do diagrama, a população mundial nos últimos anos, que chega a um bilhão de pessoas ($M = 9$) em torno de 1835 sendo agora 4,5 bilhões ($M = 9,7$). Quando a curva de Richardson cruza a barra vertical e especifica o tempo de espera para o Juízo Final: em quantos anos a população da Terra será destruída por alguma grande guerra. Com a curva de Richardson e a mais simples extrapolação para um crescimento futuro da população humana, as duas curvas não se interceptam até o século trinta, mais ou menos, e o Dia do Juízo Final é adiado.

Mas a Segunda Guerra Mundial teve uma magnitude 7,7: cerca de cinquenta milhões de militares e não-combatentes

foram mortos. A tecnologia da morte avançou sinistramente. Foram usadas, pela primeira vez, armas nucleares. Há pouca indicação de que os motivos e a propensão para a guerra tenham diminuído desde então, e tanto as armas nucleares como as convencionais se tornaram bem mais mortíferas. Assim, a parte superior da curva de Richardson foi desviada para baixo em uma extensão desconhecida. Se a sua nova posição estiver em algum lugar da área sombreada da figura, talvez tenhamos somente algumas décadas até o Dia do Juízo. Uma comparação mais detalhada da incidência de guerras antes e depois de 1945 pode ajudar a esclarecer esta questão. É mais do que um interesse passageiro.

Esta é uma outra maneira de dizer o que já sabemos há décadas: o desenvolvimento das armas nucleares e seus sistemas de liberação levarão, mais cedo ou mais tarde, ao desastre global. Muitos dos cientistas "emigre" americanos e europeus que desenvolveram as primeiras armas nucleares ficaram profundamente mortificados com o demônio que eles soltaram no mundo. Suplicaram pela sua abolição total, mas seus pedidos não mereceram atenção: a perspectiva de um avanço estratégico reacional galvanizou tanto a Rússia como os Estados Unidos, e a corrida nuclear começou.

No mesmo período houve um tratado internacional emergente sobre armas não-nucleares devastadoras, modestamente chamadas "convencionais". Nos últimos vinte e cinco anos, em dólares corrigidos pela inflação, o tratado internacional anual sobre as armas subiu de \$300 milhões para muito mais de \$20 bilhões. Nos anos entre 1950 e 1968, dos quais parece haver boas estatísticas disponíveis, houve, em média, vários acidentes por todo o mundo envolvendo armas nucleares a cada ano, embora talvez não mais do que uma ou duas explosões nucleares acidentais. As indústrias de material bélico na Rússia, nos Estados Unidos e em outras nações são grandes e poderosas. Nos Estados Unidos elas incluem grandes associações famosas por suas manufaturas domésticas. De acordo com uma estimativa, os lucros da associação na aquisição de armamentos nucleares são entre 30 e 50% mais altos do que em um mercado civil igualmente tecnológico, mas competitivo. Os custos excedentes em sistemas de armamentos nucleares são permitidos em uma escala que seria considerada inaceitável na esfera civil. Na Rússia os recursos, qualidade, atenção e cuidados despendidos na produção militar são de um contraste chocante com o mínimo deixado para os bens de consumo. Segundo algumas estimativas, quase metade dos cientistas e altos tecnólogos na Terra é empregada em tempo integral, ou parcial, em assuntos militares. Os empregados no desenvolvimento e manufatura de armas de destruição de massa recebem altos salários, pré-requisitos do poder e, quando possível, honras públicas nos mais altos níveis disponíveis em suas respectivas sociedades. O segredo do desenvolvimento das armas, levado a um ponto especialmente extravagante na Rússia, implica que os indivíduos nele empregados quase nunca necessitam se responsabilizar por suas ações. São protegidos e anônimos. O segredo militar torna este setor o mais difícil de qualquer sociedade a ser controlado

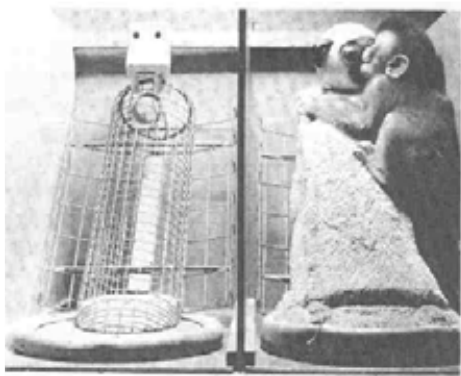


pelos seus cidadãos. Se não sabemos o que fazem, é muito difícil impedi-los. E com recompensas tão substanciais, com as indústrias militares hostis observando-se umas às outras em um abraço mútuo um tanto forçado, o mundo se descobre impelido na direção da última destruição do empreendimento humano.

Todo grande poder possui alguma justificativa amplamente publicada para sua procura e estocagem de armas de destruição de massa, muitas vezes incluindo uma lembrança reptiliana do caráter pressuposto e defeitos culturais dos inimigos em potencial (como nossos opositores, valentes companheiros), ou das intenções dos outros, mas nunca as nossas, em conquistar o mundo. Cada nação parece ter seu grupo de possibilidades vedadas, nas quais seus cidadãos e sectários não devem, a qualquer preço, permitir-se pensar seriamente. Na Rússia isto inclui o capitalismo, Deus e a renúncia à soberania nacional; os Estados Unidos, o socialismo, o ateísmo e a renúncia à soberania nacional. É o mesmo em todo o mundo.

Como explicaríamos a corrida global de armamentos a um observador extraterrestre imparcial? Como justificaríamos os mais recentes desenvolvimentos que levam a uma perda de estabilidade como satélites assassinos, armas de emissão de partículas laser, bombas de nêutrons, mísseis de cruzeiro e a conversão proposta de áreas do tamanho de municípios media-nos para o empreendimento de esconder cada míssil balístico intercontinental entre centenas de armadilhas? Quem argumentaria que dez mil ogivas direcionadas aumentarão as perspectivas da nossa sobrevivência? Que justificativa daríamos à administração do planeta Terra? Ouvimos as análises racionais oferecidas pelas superpotências nucleares. Sabemos quem responde pelas nações. Mas quem o faz pela espécie humana? Quem responde pela Terra?

A atmosfera superior do planeta Terra, vista ao crepúsculo. Em uma guerra nuclear, a camada protetora de ozônio será parcialmente destruída, e a estratosfera preenchida com debris radioativos. Um visitante de outro mundo se sentirá tentado a não parar aqui. Cortesia da NASA.



Uma mamãe-macaca substituta. Proporcionando uma alternativa de escolha entre duas mães substitutas— uma estrutura de arame equipada com uma mamadeira de leite, ou a mesma estrutura coberta por panos e com uma mamadeira de leite — os bebês macacos, sem hesitação, escolhem a última. Os seres humanos e outros primatas possuem, geneticamente determinadas, necessidades de interação social e de afeto e proteção física. Cortesia de Harry F. Harlow of Wisconsin Primate Laboratory.

Cerca de dois terços da massa do cérebro humano se encontram no córtex cerebral, devotados à intuição e razão. Os seres humanos evoluíram de modo gregário. Apreciamos a companhia uns dos outros, cuidamos uns dos outros. Nós cooperamos. O altruísmo está dentro de nós. Deciframos brilhantemente alguns dos padrões da Natureza. Temos motivação suficiente para trabalhar juntos e a capacidade para calcular como fazê-lo. Se ansiarmos por contemplar uma guerra nuclear e a destruição conjunta da nossa sociedade global emergente, desejaremos também contemplar uma reestruturação por inteiro de nossas sociedades? De uma perspectiva extraterrestre, nossa civilização global está claramente no limite do fracasso nas suas tarefas mais importantes: preservar as vidas e o bem-estar dos cidadãos do planeta. Não deveríamos estar então ansiando por explorar com vigor, em cada nação, transformações capitais nos modos tradicionais de ação, uma reformulação fundamental nas instituições econômica, política, social e religiosa?

Face a uma alternativa tão inquietante, tentamos sempre minimizar a seriedade do problema, argumentar que aqueles que se preocupam com o dia do juízo são alarmistas; sustentar que as alterações fundamentais em nossas instituições são impraticáveis ou contrárias à "natureza humana", como se a guerra nuclear fosse prática ou como se houvesse somente uma natureza humana. Uma guerra nuclear em escala total nunca aconteceu. De alguma forma isto é considerado como uma implicação de que ela nunca acontecerá. Mas nós podemos experimentá-la somente uma vez. E então será tarde demais para mudar as estatísticas.

Os Estados Unidos são um dos poucos governos que realmente sustentam uma ação devotada a reverter a corrida nuclear. Mas a comparação das receitas do Departamento de Defesa (153 bilhões de dólares por ano em 1980) e o da Agência de Desarmamento e Controle de Armas (0,018 bilhões de dólares por ano) nos lembra a importância relativa destinada às duas atividades. Não deveria uma sociedade racional despendar mais para a compreensão e prevenção, do que na preparação para uma próxima guerra? É possível estudarem-se as causas da guerra. No momento nossa compreensão é escassa — provavelmente porque o orçamento para o desarmamento tem estado, desde o tempo de Sargon de Akkad, entre o insuficiente e o não-existente. Os microbiólogos e os médicos estudam as doenças principalmente para curar pessoas. Raramente estão criando patogenias. Estudemos a guerra como se ela fosse, como Einstein apropriadamente chamou, uma doença da infância. Atingimos ao ponto onde a proliferação de armas nucleares e a resistência ao desarmamento ameaçam cada pessoa no planeta. Não há mais interesses especiais ou casos especiais. Nossa sobrevivência depende de entregar nossa inteligência e nossos recursos em escala maciça para tomar conta do nosso próprio destino, para garantir que a curva de Richardson não vire para a direita.

Nós, os reféns nucleares — todos os povos da Terra — devemos nos educar a respeito da guerra convencional e nu-

clear. Então educaremos nossos governantes. Devemos aprender a ciência e a tecnologia que providencia os únicos meios concebíveis para a nossa sobrevivência. Devemos ansiar por desafiar corajosamente o juízo social, político, econômico e religioso convencional. Devemos fazer todo o esforço para compreender que os nossos companheiros, em todo o mundo, são seres humanos. Naturalmente estes passos são difíceis. Mas, como muitas vezes replicava Einstein quando suas sugestões eram rejeitadas como impraticáveis ou inconsistentes com a "natureza humana": "Qual é a alternativa?"

Os mamíferos caracteristicamente aconchegam-se, afaçam, abraçam, acariciam, mimam, cuidam e amam suas crias, comportamento essencialmente desconhecido entre os répteis. Se é realmente verdade que o complexo-R e os sistemas límbicos vivem em uma trégua agitada dentro de nosso crânios, e ainda partilham de suas antigas predileções, devemos esperar uma inteligência paternal afetuosa para encorajar nossa natureza mamífera e a ausência de afeição física para incitar o comportamento reptiliano. Há alguma evidência que seja este o caso. Em experiências de laboratório, Harry e Margareth Harlow descobriram que os macacos criados em gaiolas e fisicamente isolados, embora pudessem ver, ouvir e cheirar seus companheiros símios, desenvolveram mau humor, isolamento, autodestruição e outras características anormais. Nos seres humanos o mesmo é observado em crianças criadas sem afeição física, em geral em instituições, onde claramente estão em grande aflição.

O neuropsicólogo James W. Prescott executou uma análise estatística inicial abrangendo vários níveis de cultura entre 400 sociedades pré-industriais e descobriu que as culturas pródigas em afeição física não tendiam para a violência. Mesmo sociedades sem grandes afetos pelas crianças desenvolviam adultos não-violentos, providenciando-se que a atividade sexual na adolescência não fosse reprimida. Prescott acredita que culturas com uma predisposição para a violência são formadas de indivíduos que foram privados, durante pelo menos um ou dois estágios críticos na vida, infância e adolescência, dos prazeres do corpo. Onde a afeição física é encorajada, o roubo, religião organizada, demonstrações de inveja quanto à riqueza são imperceptíveis; onde as crianças são fisicamente punidas, eles tendem a ser escravos, freqüentemente matam, torturam e mutilam os inimigos, cultuam a inferioridade das mulheres e crêem em um ou mais seres sobrenaturais que intervêm na vida diária.

Não compreendemos o comportamento humano bem o suficiente para estarmos certos dos mecanismos subjacentes a estas relações, embora possamos conjecturar. Mas as correlações são insignificantes. Prescott escreveu: " O percentual de probabilidade de uma sociedade tornar-se fisicamente violenta, se for fisicamente afeiçoada às suas crianças e tolerante no comportamento sexual pré-conjugal, é de 2%. A probabilidade desta relação ocorrer é de 125.000 para um. Não estou ciente de qualquer outra variável ambiental que possua um grau tão alto de validade predestinada". Crianças famintas por um afeto físico serão adolescentes fortemente guiados para uma atividade

sexual. Se os jovens possuírem o seu caminho, as sociedades desenvolverão adultos que apresentarão pouca tolerância pela agressão, territorialidade, hierarquia ritual e social (embora no curso do crescimento as crianças devam também experimentar estes comportamentos reptilianos). Se Prescott está certo, na era das armas nucleares e das prevenções eficazes, o abuso das crianças e a repressão sexual maciça serão crimes contra a humanidade. É óbvia a necessidade de mais pesquisas sobre essa tese provocadora. Enquanto isso, cada um de nós pode dar uma contribuição pessoal e tranqüila ao futuro do mundo, abraçando nossas crianças com ternura.

Se as inclinações para a escravidão e o racismo, misogenia e violência estiverem unidas — como característica individual e da história humana, bem como sugestão de pesquisas culturais — haverá então lugar para algum otimismo. Estamos rodeados de alterações fundamentais recentes na sociedade. Nos últimos dois séculos, a escravidão abjeta, existente há milhares de anos ou mais, foi quase eliminada em uma revolução instigada em todo o planeta. As mulheres, protegidas por milênios, tradicionalmente impedidas de terem um poder econômico e político real, estão aos poucos se tornando, mesmo nas sociedades mais atrasadas, parceiras em igualdade com os homens. Pela primeira vez na história moderna, as principais guerras de agressão foram paradas parcialmente pela reação sentida pelos cidadãos das nações agressoras. As antigas exortações ao fervor nacionalista e orgulho egoísta começaram a perder sua força apelativa. Talvez pelas condições de vida melhores, as crianças estão sendo melhor tratadas em todo o mundo. Em somente algumas décadas, as alterações globais começaram a mover-se precisamente nas direções necessárias à sobrevivência humana. Desenvolve-se uma nova consciência que reconhece sermos uma espécie.

"A superstição [é] covardia em face ao Divino", escreveu Teofrasto, que viveu durante a fundação da Biblioteca de Alexandria. Habitamos um universo onde os átomos são formados no centro das estrelas, onde a cada segundo nascem mil sóis, onde a vida é lançada pela luz solar e acesa nos ares e águas dos planetas jovens, onde a matéria-prima para a evolução biológica é algumas vezes obtida de uma explosão de uma estrela na outra metade da Via-láctea, onde algo belo como uma galáxia é formado cem bilhões de vezes, um Cosmos de quasars e quarks, flocos de neve e pirilampos, onde pode haver buracos negros, outros universos e civilizações extraterrestres cujas radiomensagens estão até este momento atingindo a Terra. Muito pálidas, pela comparação, são as pretensões, superstições e pseudo-ciências; como é importante para nós nos dedicarmos a entendermos a ciência, este esforço caracteristicamente humano.

Cada aspecto da Natureza revela um mistério profundo e toca nosso sentimento de admiração e respeito. Teofrasto estava certo. Os receosos do universo, os que pretendem uma visão e conhecimento não existentes de um Cosmos centrado em seres humanos preferem o conforto passageiro da superstição. Eles evitam mais do que confrontam o mundo. Mas, aqueles que com coragem explorarem a trama e a estrutura do Cosmos, mesmo



Uma reconstrução da sala de armários com papiros da Grande Biblioteca de Alexandria. Seu andar superior continha mais de meio milhão de volumes, quase todos irremediavelmente perdidos.

onde este difere profundamente de seus desejos e preconceitos, penetrarão em seus mistérios mais profundos.

Não existe outra espécie na Terra que faça ciência. Ela é, até então, uma invenção inteiramente humana, evoluída através de uma seleção natural, no córtex cerebral por uma razão muito simples: ela produz. Não é perfeita e pode ser mal utilizada. É somente uma ferramenta, mas até agora a melhor que temos, autocorretiva, progressiva, aplicável a tudo. Possui duas regras. Primeira: não existem verdades sagradas; todas as suposições devem ser examinadas criticamente; argumentos de autoridade não têm valor. Segunda: tudo que seja inconsistente com os fatos deve ser rejeitado ou revisto. Devemos compreender o Cosmos como ele é e não confundir isso com como gostaríamos que fosse. O óbvio é algumas vezes falso, o inesperado algumas vezes verdadeiro. Os seres humanos em toda parte partilham dos mesmos objetivos quando o contexto é amplo o suficiente. O estudo do Cosmos provê o maior contexto possível. A cultura global atual é um tipo de recém-chegado arrogante. Chegou em um estágio planetário de quatro e meio bilhões de outros atos, e após olhar à volta por alguns milhares de anos declarou-se possuidora das verdades eternas. Em um mundo em rápida transformação como o nosso, isto é a prescrição do desastre. Nenhuma nação, religião ou sistema econômico, nenhum grupo de conhecedores possui todas as respostas para a nossa sobrevivência. Deve haver muitos sistemas sociais que funcio-nam bem melhor do que qualquer um em andamento agora. Segundo a tradição científica, nossa tarefa é descobri-los.

Somente uma vez antes em nossa história houve a promessa de uma civilização científica brilhante. Beneficiária do Despertar Jônico, tinha sua fortaleza na Biblioteca de Alexandria, onde há 2.000 anos as maiores inteligências da antigüidade estabeleceram as fundações para um estudo sistemático da matemática, física, biologia, astronomia, literatura, geografia e medicina. Construímos ainda sobre essas fundações. A Biblioteca foi construída e mantida pelos Ptolomeus, reis gregos que

herdaram a porção egípcia do império de Alexandre, o Grande. Do tempo da sua criação no século III A.C. até a sua destruição sete séculos depois, ela foi o cérebro e o coração do mundo antigo.

Alexandria era a capital das publicações do planeta. Naturalmente não havia impressoras e os livros eram caros, cada um deles copiado à mão. A Biblioteca era o repositório das cópias mais precisas do mundo. A arte da edição crítica foi inventada lá. O Antigo Testamento chegou-nos principalmente através das traduções gregas feitas na Biblioteca Alexandrina. Os Ptolomeus devotaram grande parte da sua riqueza à aquisição de cada livro grego, bem como aos trabalhos da África, Pérsia, Índia, Israel e de outras partes do mundo. Ptolomeu III Evérgeta desejou tomar emprestado de Atenas os manuscritos originais ou cópias oficiais do estado das grandes tragédias antigas de Sófocles, Ésquilo e Eurípides. Para os atenienses era um tipo de patrimônio cultural, algo como as cópias manuscritas originais e primeiros fólios de Shakespeare devem ser para a Inglaterra. Foram relutantes em deixar os manuscritos saírem de suas mãos mesmo por um momento. Somente após Ptolomeu ter garantido o seu retorno com um volumoso depósito em dinheiro, eles concordaram em enviar as peças. Mas Ptolomeu avaliou estes pergaminhos mais do que ouro ou prata. Confiscou o depósito de bom grado e o guardou como uma relíquia, bem como os originais na Biblioteca. Os atenienses ultrajados tiveram que se contentar com as cópias que Ptolomeu, somente um pouco envergonhado, os presenteou. Raramente um estado suportou com tanta avidez a busca do conhecimento.

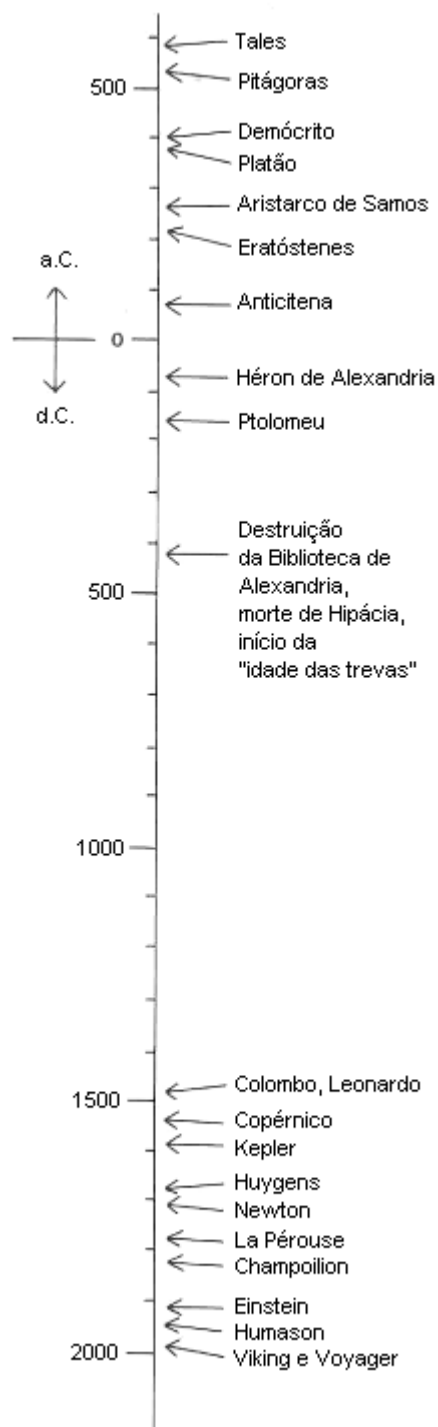
Os Ptolomeus não colheram meramente o conhecimento estabelecido; encorajaram e financiaram a pesquisa científica e geraram assim novos conhecimentos. Os resultados foram espantosos: Eratóstenes calculou com precisão o tamanho da Terra, mapeou-a e argumentou que a Índia podia ser atingida navegando-se para o oeste partindo da Espanha. Hiparco antecipou que as estrelas se formavam, movendo-se lentamente no curso dos séculos, e eventualmente perecendo, foi ele quem primeiro catalogou as posições e magnitude das estrelas para detectar as alterações. Euclides produziu um livro-texto de geometria no qual os seres humanos aprenderam, por vinte e três séculos, um trabalho que ajudou a despertar o interesse científico de Kepler, Newton e Einstein. Galeno escreveu livros básicos sobre a arte de curar e anatomia que dominaram a medicina até o Renascimento. Houve, como já vimos, muitos outros.

Alexandria foi a maior cidade do mundo ocidental jamais vista. Pessoas de todos os países acorriam para lá para viver, comerciar e aprender. Em qualquer dia, seus portos estavam acumulados de mercadores, estudiosos e turistas. Era uma cidade onde gregos, árabes, sírios, hebreus, persas, núbios, fenícios, italianos, gauleses e iberos trocavam mercadorias e idéias. Foi provavelmente lá que a palavra *cosmopolita* cumpriu seu

significado real — cidadão, não de uma só nação, mas do Cosmos.* Ser um cidadão do Cosmos.

Sem dúvida, lá estavam as sementes do mundo moderno. O que os impediu de criarem raízes e florescerem? Por que o oeste hibernou por mil anos de trevas até Colombo, Copérnico e seus contemporâneos redescobrirem o trabalho feito em Alexandria? Não posso lhes dar uma única resposta. Só o que sei é: não há registros, na história inteira da Biblioteca, de qualquer um de seus ilustres cientistas e estudiosos jamais terem seriamente desafiado as suposições políticas, econômicas e religiosas da sua sociedade. A permanência das estrelas foi questionada, a justiça da escravidão, não. A ciência e o aprendizado em geral eram preservados para alguns privilegiados. A vasta população da cidade não tinha a mais vaga noção das grandes descobertas que ocorriam na Biblioteca. Novas descobertas não eram explicadas ou popularizadas. A pesquisa pouco os beneficiou. As descobertas na mecânica e na máquina a vapor eram aplicadas principalmente no aperfeiçoamento de armas, encorajamento da superstição e distração dos reis. Os cientistas nunca obsequiaram o potencial das máquinas às pessoas livres.** As grandes realizações intelectuais da antiguidade tiveram poucas aplicações imediatas. A ciência nunca penetrou na imaginação da massa. Não houve um contrabalanço na estagnação, no pessimismo e na renúncia mais abjeta ao misticismo. Quando, no fim, o motim incendiou a Biblioteca, não houve ninguém que os impedisse.

O último cientista a trabalhar na Biblioteca foi uma astrônoma, matemática, física e a líder da escola neoplatônica de filosofia — uma gama extraordinária de instrução para um indivíduo em qualquer idade. Seu nome era Hipácia. Nasceu em Alexandria em 370. Em uma época em que as mulheres possuíam poucas opções e eram tratadas como propriedade, Hipácia movia-se livre e desinteressadamente pelos domínios masculinos tradicionais. Segundo a opinião corrente, ela era muito bela. Teve vários pretendentes, mas rejeitou as ofertas de casamento. A Alexandria da época de Hipácia, então sob o domínio romano, era uma cidade sob grande tensão. A escravidão tinha minado a civilização clássica na sua vitalidade. A Igreja Cristã em expansão consolidava seu poder e tentava erradicar a influência e cultura pagãs. Hipácia permaneceu no epicentro destas poderosas forças sociais. Cirilo, patriarca de Alexandria, desprezou-a pela sua amizade íntima com o governador romano e por ser ela um símbolo do saber e da ciência, que eram identificados no início da Igreja com o paganismo. Com grande perigo pessoal, ela continuou a ensinar e a publicar, até que no ano de 415 foi atacada por uma turba fanática de paroquianos de Cirilo. Tiraram-na de sua charrete, rasgaram suas roupas e, armados com conchas, esfoliaram-na



Linha de tempo de alguns personagens, máquinas e ventos descritos neste Livro. A Anticitera foi um computador astronômico desenvolvido na antiga Grécia. Deve-se a Heron da Alexandria um aparelho de nivelamento utilizado por muito tempo em medições astronômicas e terrestres. O hiato milenar no centro do diagrama representa uma pungente perda de oportunidade para a espécie humana.

*A palavra *cosmopolita* foi primeiro inventada por Diógenes, filósofo racionalista e crítico de Platão.

**Com a única exceção de Arquimedes, que durante a sua estadia na Biblioteca inventou o aspersor, utilizado até hoje no Egito para irrigação dos campos cultivados. Mesmo ele considerava estas invenções mecânicas bem abaixo da dignidade da ciência.

até os ossos. Seus pertences foram queimados, seus trabalhos obliterados, seu nome esquecido. Cirilo foi canonizado.

A glória da Biblioteca de Alexandria é agora uma lembrança apagada. Seus últimos remanescentes foram destruídos logo após a morte de Hipácia. Foi como se uma civilização inteira tivesse sofrido uma cirurgia cerebral auto-infligida, e a maioria de suas lembranças, descobertas, idéias e sentimentos tivessem extinguido inexoravelmente. A perda foi incalculável. Em alguns casos, sabemos somente os títulos assombrados dos trabalhos que foram destruídos. Na maioria, não sabemos nem os títulos e nem os autores. Sabemos que das 123 peças de Sófocles na Biblioteca, só sete se salvaram. Uma delas é *Édipo Rei*. Números semelhantes se aplicam aos trabalhos de Ésquilo e Eurípides. É tão pouco como se os únicos trabalhos que tivessem sobrevivido de um homem chamado William Shakespeare fossem *Coriolano* e *Uma História de Inverno*, mas que tivéssemos ouvido ter ele escrito outras peças desconhecidas para nós, mas aparentemente apreciadas na sua época, trabalhos intitulados *Hamlet*, *Macbeth*, *Júlio César*, *Rei Lear*, *Romeu e Julieta*.

Do conteúdo físico daquela gloriosa Biblioteca não restou um único rolo de pergaminho. Na atual Alexandria poucas pessoas possuem uma apreciação perspicaz, muito menos um conhecimento detalhado da Biblioteca ou da grande civilização egípcia que a precedeu por milhares de anos. Em tempos mais próximos, outros imperativos mais recentes tiveram prioridade. O mesmo se aplica em todo o mundo. Temos somente um contato muito tênue com o nosso passado, embora baste uma pedra retirada das ruínas do Serapeu para nos lembrarmos de muitas civilizações: esfinges enigmáticas do Egito faraônico, uma grande coluna erigida ao imperador romano Deoclécio pelos laiaios de uma província por não ter permitido que os cidadãos de Alexandria morressem de fome, uma igreja cristã, muitos minaretes, e os contrastes da moderna civilização industrial — apartamentos, automóveis, bondes, favelas urbanas, uma torre de retransmissão de microondas. Há milhões de fios com o passado entrelaçados para formar os cabos e as cordas do mundo moderno.

Nossas realizações repousam sobre o conhecimento de 40.000 gerações de nossos predecessores humanos, uma diminuta fração daqueles esquecidos e sem nome. Algumas vezes deparamo-nos com uma civilização maior, como a antiga cultura de Ebla, que floresceu somente há alguns milênios e sobre a qual não sabemos nada. Como somos ignorantes sobre o nosso passado! Inscrições, papiros, livros que unem no tempo a espécie humana e nos permitem ouvir essas poucas vozes e gritos débeis de nossos irmãos e irmãs, nossos ancestrais. E que alegria no reconhecimento, quando nos conscientizamos como eles são parecidos conosco:

Neste livro devotamos atenção a alguns dos nossos antepassados cujos nomes ficaram perdidos: Eratóstenes, Demócrito, Aristarco, Hipácia, Leonardo, Kepler, Newton, Huygens, Champollion, Humason, Goddard e Einstein, todos da cultura ocidental, porque a civilização científica emergente em

nosso planeta é principalmente uma civilização ocidental. Mas todas as culturas, da China, Índia, África Ocidental, América Central, devem contribuições importantíssimas à nossa sociedade global e possuem seus pensadores originais. Através dos avanços tecnológicos na comunicação, nosso planeta se encontra nos estágios finais para partir, célere, em direção a uma única sociedade global. Se pudermos efetuar a integração da Terra sem obliterar as diferenças culturais ou nos destruirmos, teremos atingido uma grande realização.

Próximo ao local da Biblioteca de Alexandria hoje existe uma esfinge sem cabeça, esculpida na época do faraó Horemheb da 18.^a Dinastia, um milênio antes de Alexandre. Dentro do corpo leonino, à vista, está uma moderna torre de retransmissão de microondas. Entre elas corre um fio contínuo na história da espécie humana. Da esfinge à torre há um instante do tempo cósmico — um momento nos quinze ou mais bilhões que decoraram desde o Big Bang. Quase todos os registros da passagem do universo de então até agora foram espalhados pelos ventos do tempo. A evidência da evolução cósmica foi destruída mais por completo do que todos os rolos de pergaminhos na Biblioteca de Alexandria, mas através da ousadia e da inteligência nossos ancestrais e nós temos viajado:

Por tempos desconhecidos, após o derrame explosivo de matéria e energia do Big Bang, o Cosmos não teve forma. Não havia galáxias, planetas ou vida. A escuridão profunda é impenetrável estava em toda parte, os átomos de hidrogênio no vácuo. Aqui e ali acúmulos mais densos de gás cresciam imperceptivelmente, globos de matéria condensavam-se, gotas de hidrogênio mais massivas do que sóis. Dentro desses globos de gás, foi primeiro ateado o fogo nuclear latente na matéria. Nasceu a primeira geração de estrelas, alimentando o Cosmos com luz. Não havia ainda nesta época planetas para receber luz, nem criaturas viventes para apreciar o brilho dos céus. No fundo dos cadinhos estelares a alquimia da fusão nuclear criou os elementos pesados, as cinzas da queima do hidrogênio, os materiais de construção atômica dos futuros planetas e formas de vida. As estrelas massivas exauriram logo seu combustível nuclear. Embaladas por explosões colossais, elas despejam a maior parte de suas substâncias de volta ao gás tênue do qual se condensaram uma vez. Aqui nas nuvens plenas e escuras entre as estrelas, novas gotas de chuva formadas de vários elementos estão formando gerações posteriores de estrelas. Próximo, gotas menores crescem, corpos muito diminutos para acender o fogo nuclear, gotículas na névoa interestelar em seu caminho para a formação de planetas. Entre eles, um pequeno mundo de pedra e ferro, a Terra inicial.

Congelando e esquentando, a Terra liberou gases de metano, amônia, a água e hidrogênio que tinham sido aprisionados, formando a atmosfera primitiva e os primeiros oceanos. A luz estelar do Sol banhou e aqueceu a Terra primitiva, dirigiu as tempestades, gerando os raios e os trovões. Os vulcões vomitaram lava. Estes processos romperam as moléculas da atmosfera primitiva; os fragmentos se uniram outra vez em formas cada

vez mais complexas, que se dissolveram nos primeiros oceanos. Após um tempo, os mares atingiram a consistência de uma sopa quente e diluída. As moléculas se organizaram e reações químicas complexas foram induzidas na superfície da argila. E um dia surgiu uma molécula que quase por acidente foi capaz de fazer cópias imperfeitas de si mesma no meio das outras moléculas no caldo. À medida que o tempo passava, surgiam moléculas auto-reduplicadoras mais elaboradas e mais precisas. Estas combinações melhor adaptadas para uma duplicação posterior foram favorecidas pelo crivo da seleção natural. As que copiavam melhor, produziam mais cópias. E o caldo oceânico primitivo gradualmente se reduziu à medida que se consumia e se transformava em condensações complexas de moléculas orgânicas autoduplicadoras. Gradual e imperceptivelmente, a vida começou.

Plantas unicelulares desenvolveram-se e a vida começou a gerar seu próprio alimento. A fotossíntese transformou a atmosfera. O sexo foi inventado. As formas de vida anteriormente dispersas uniram-se para formar uma célula complexa com funções especializadas. Os químio-receptores evoluíram para colônias multicelulares, elaborando suas várias partes em sistemas orgânicos especializados. Olhos e ouvidos evoluíram, e agora o Cosmos pode ver e ouvir. Plantas e animais descobriram que a Terra podia suportar a vida. Organismos zumbiam, arrastavam-se, abriam buracos, amontoavam-se, deslizavam, agitavam-se, vacilavam, subiam e voavam. Animais colossais trovejavam por entre selvas fumegantes. Pequenas criaturas emergiram, nascidas livres e não mais em revestimentos conchíferos duros, com um líquido semelhante aos primeiros oceanos correndo dentro de suas veias. Sobreviviam pela rapidez e astúcia. E então, há um momento atrás, alguns animais que viviam em árvores fugiram delas. Tornaram-se eretos e aprenderam a usar ferramentas, domesticar outros animais, plantas e o fogo e inventaram a linguagem. A cinza da alquimia estelar estava então emergindo para uma consciência. Em um ritmo cada vez mais acelerado, inventou a escrita, cidades, arte e ciência, e enviou espaçonaves aos planetas e estrelas. Estas são algumas das coisas feitas pelos átomos de hidrogênio, em quinze bilhões de anos de evolução cósmica.

Isto soa como o mito épico, como talvez o seja, mas é simplesmente a descrição da evolução cósmica como foi revelada pela ciência da nossa época. Somos difíceis de conquistar e representamos um perigo para nós mesmos. Mas qualquer justificativa para a evolução cósmica deixa claro que todas as criaturas da Terra, os últimos produtos da indústria de hidrogênio galáctico, são seres para serem acariciados. Em qualquer lugar pode acontecer outras transmutações da matéria igualmente assombrosas e, então, procuramos tão ansiosamente por um murmúrio no céu.

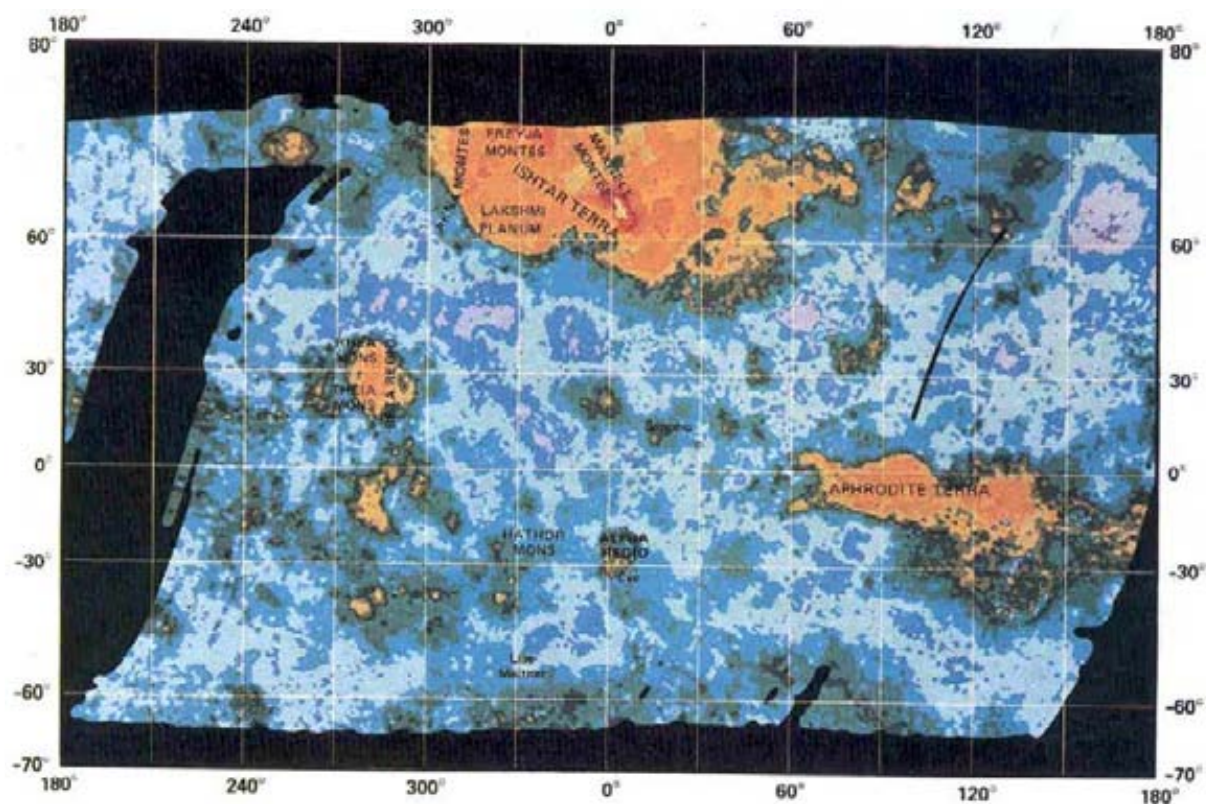
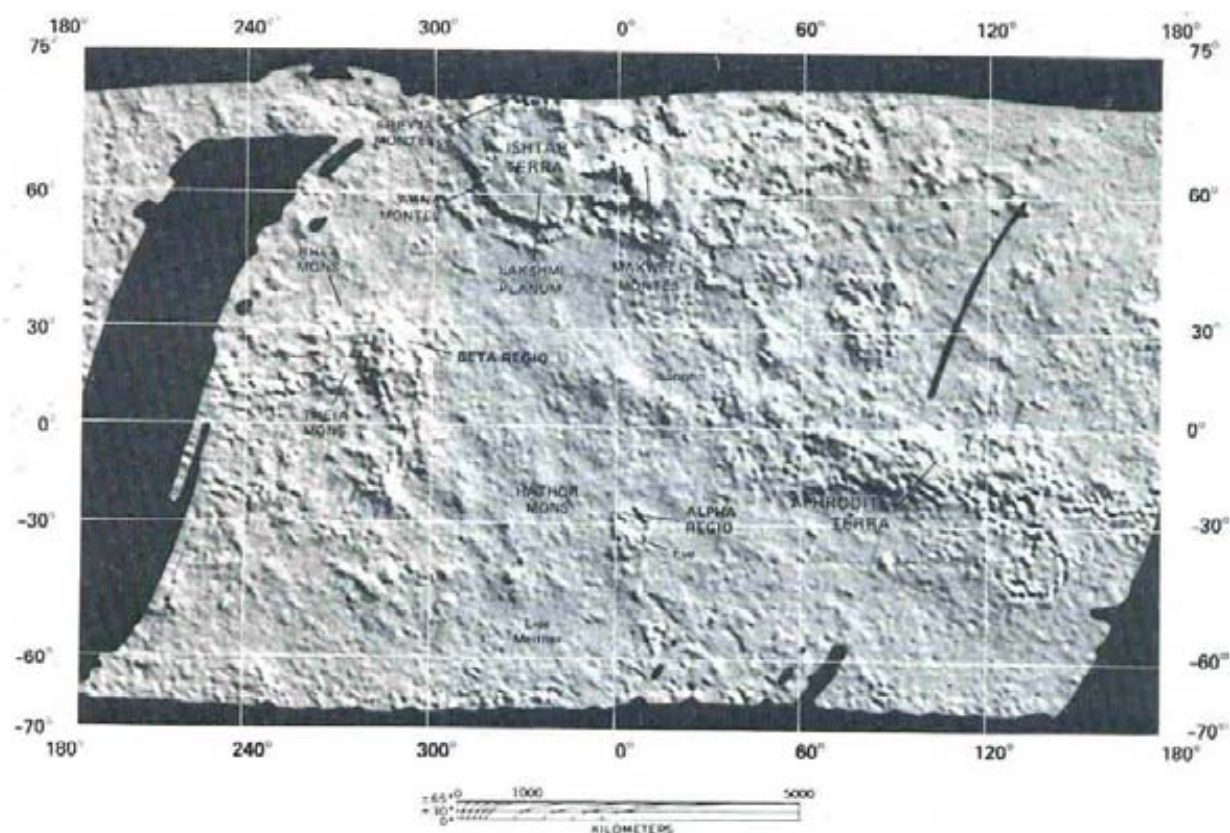
Sustentamos a noção peculiar de que uma pessoa ou sociedade um pouco diferente de nós, independente de quem seja, é de alguma forma estranha ou fantástica para não se confiar ou para despertar uma aversão. Pensemos nas conotações negativas das palavras como alienígenos ou estrangeiros. Não obstante, os monumentos e culturas de cada

uma das nossas civilizações representam meramente as diferentes atividades do ser humano. Um visitante extraterrestre, observando as diferenças entre os seres humanos e suas sociedades, descobriria que essas diferenças são triviais quando comparadas às similaridades. O Cosmos pode ser densamente povoado de seres inteligentes, mas a lição darwiniana é clara: não haverá seres humanos em outros locais. Somente aqui, neste pequeno planeta. Somos uma espécie tão rara quanto perigosa. Se um ser humano discordar de você, deixe-o viver. Em cem bilhões de galáxias, não encontrará nenhum outro.

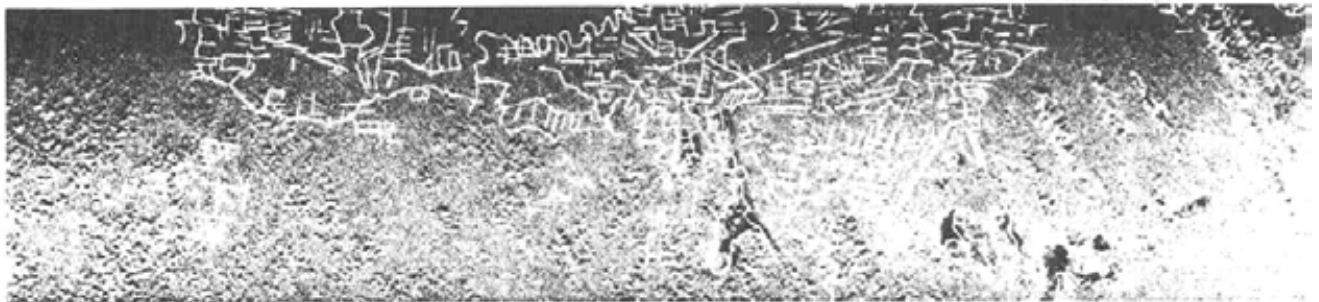
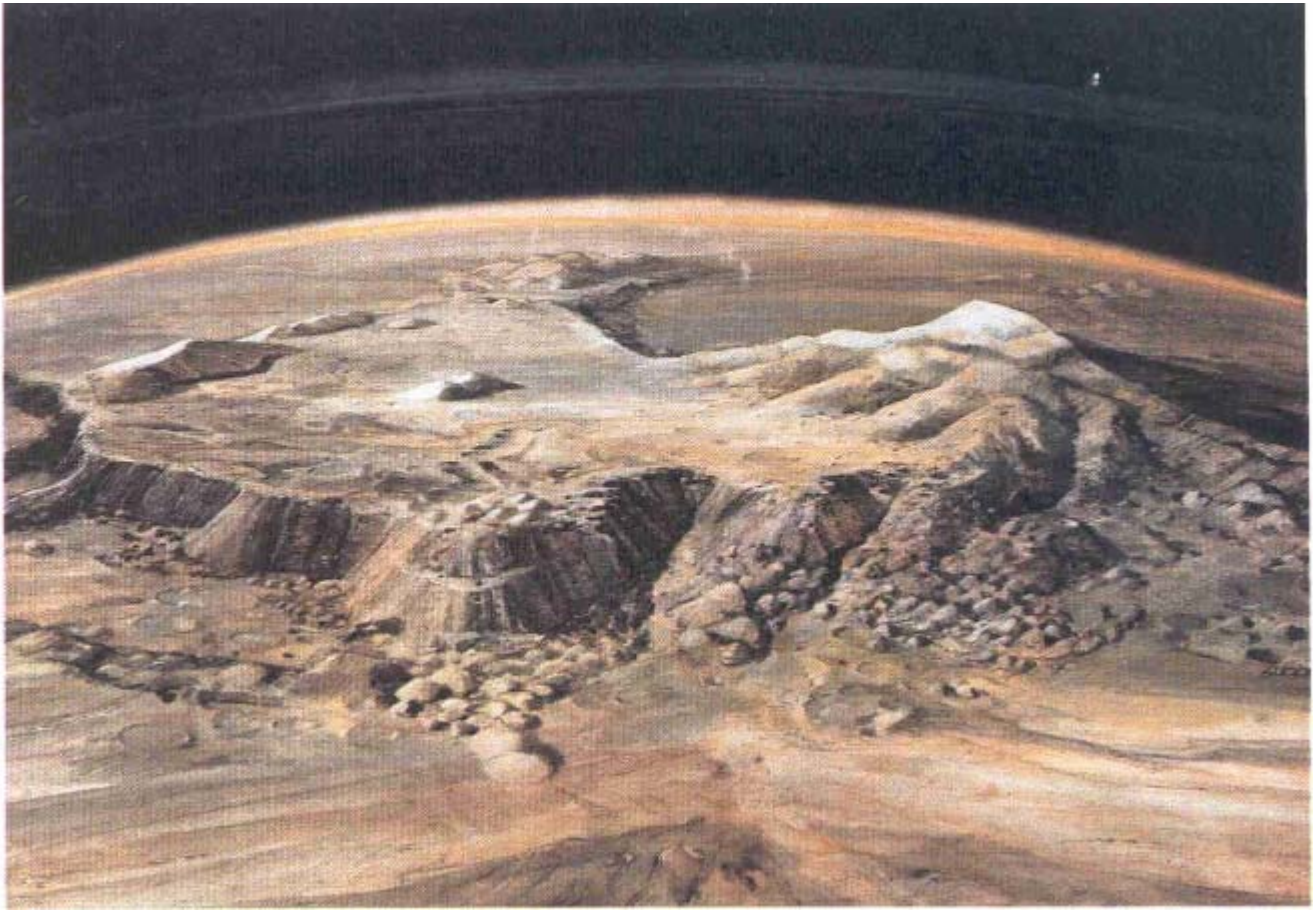
A história humana pode ser vista como um lento despertar do saber que somos membros de um grande grupo. Inicialmente nossas lealdades eram conosco e com nossa família mais chegada, depois a grupos de caçadores errantes, então a tribos, pequenos povoados, cidades, estados, nações. Ampliamos o círculo daqueles que amamos. Organizamos agora o que é modestamente descrito como superpotências, o que inclui grupos de pessoas de origens étnica e cultural diferentes trabalhando de alguma forma juntas, uma experiência sem dúvida humanizante e de caráter construtivo. Se quisermos sobreviver, nossas lealdades deverão se ampliar ainda mais para incluir toda a comunidade humana, o planeta Terra inteiro. Muitos daqueles que governam as nações não aceitarão essa idéia, recearão a perda do poder. Ouviremos muito a respeito de traição e deslealdade. As nações-estado ricas deverão partilhar os seus bens com os pobres. Mas a escolha, como H. G. Wells disse uma vez em um contexto diferente, é claramente o universo ou nada.

Há alguns milhões de anos, não havia seres humanos. Quem estará aqui quando se passarem outros milhões de anos? Em todos os 4,6 bilhões de anos da história do nosso planeta, nada jamais o deixou. Mas agora pequenas espaçonaves exploratórias não-tripuladas da Terra movem-se, cintilantes e distintas, pelo sistema solar. Fizemos um reconhecimento preliminar de vinte mundos, entre eles os planetas visíveis a olho nu, todas essas luzes noturnas errantes que incitaram nossos ancestrais a compreendê-las e admirá-las. Se sobrevivermos, nossa época ficará famosa por duas razões: o momento perigoso de adolescência tecnológica que dirigimos para evitar a autodestruição e por ser a época em que iniciamos nossa viagem às estrelas.

A escolha é rígida e irônica. As mesmas torres de lançamento de foguetes utilizados para lançar as sondas aos planetas são suspensas para enviar ogivas nucleares às nações. As fontes de poder radioativo na Viking e na Voyager derivam da mesma tecnologia que compõe as armas nucleares. As técnicas de rádio e de radar empregadas para orientar e guiar os mísseis balísticos e defender contra os ataques são também utilizadas para monitorizar e comandar a espaçonave nos planetas e para captar os sinais das civilizações próximas a outras estrelas. Se utilizarmos essas tecnologias para nos destruirmos, certamente não nos aventuraremos aos planetas e estrelas. O inverso também é verdadeiro. Se continuarmos rumo aos planetas e estrelas, nossos chauvinismos serão abalados ainda mais. Ganharemos uma perspectiva cósmica. Reconheceremos que nossas explorações

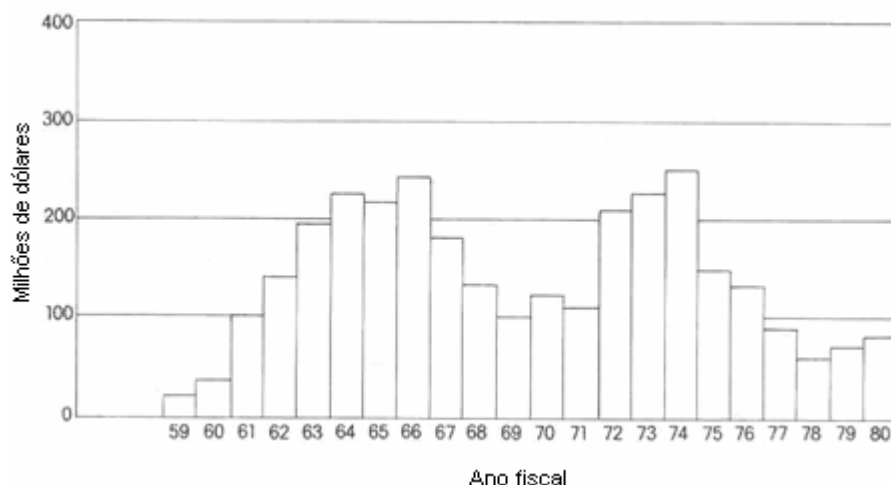


Exploração por radar de dois mundos. A superfície de Vênus, perpetuamente oculta pelas nuvens, é revelada, pela primeira vez, em escala global nestes mapas. Os dados foram obtidos pela Pioneer Venus, que transmitiu sinais de radar acima das nuvens de Vênus para a superfície abaixo; o sinal refletido era, então, detectado. O planeta apresenta montanhas, crateras e dois grandes continentes (em laranja), Istar Terra e Aphrodite Terra. Uma concepção artística da Terra de Istar é mostrada acima. As naves espaciais Venera 9 e 10 pousaram perto da Beta Regio. As nêgas pretas são regiões ainda sob exploração do radar. Um mecanismo de radar semelhante, idealizado para a exploração de Vênus, foi testado acima das selvas cobertas de nuvens da Guatemala e de Belize, na Terra. Para surpresa sua, o arqueólogo R. E. W. Adams descobriu (ao centro, à direita) uma rede intrincada de linhas retas e curvas, previamente desconhecidas, que uma pesquisa de campo subsequente provou ser um sistema de canais.



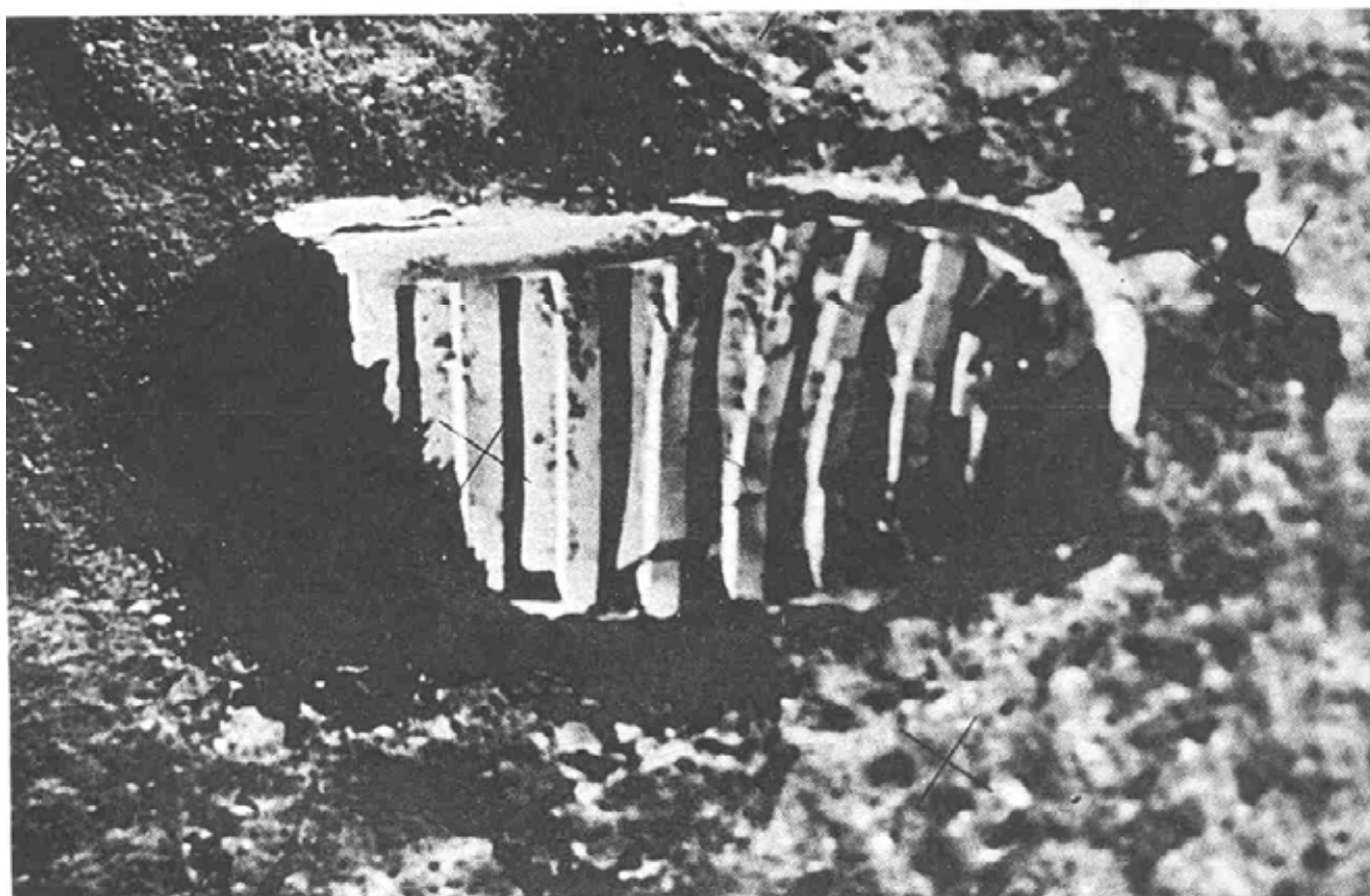
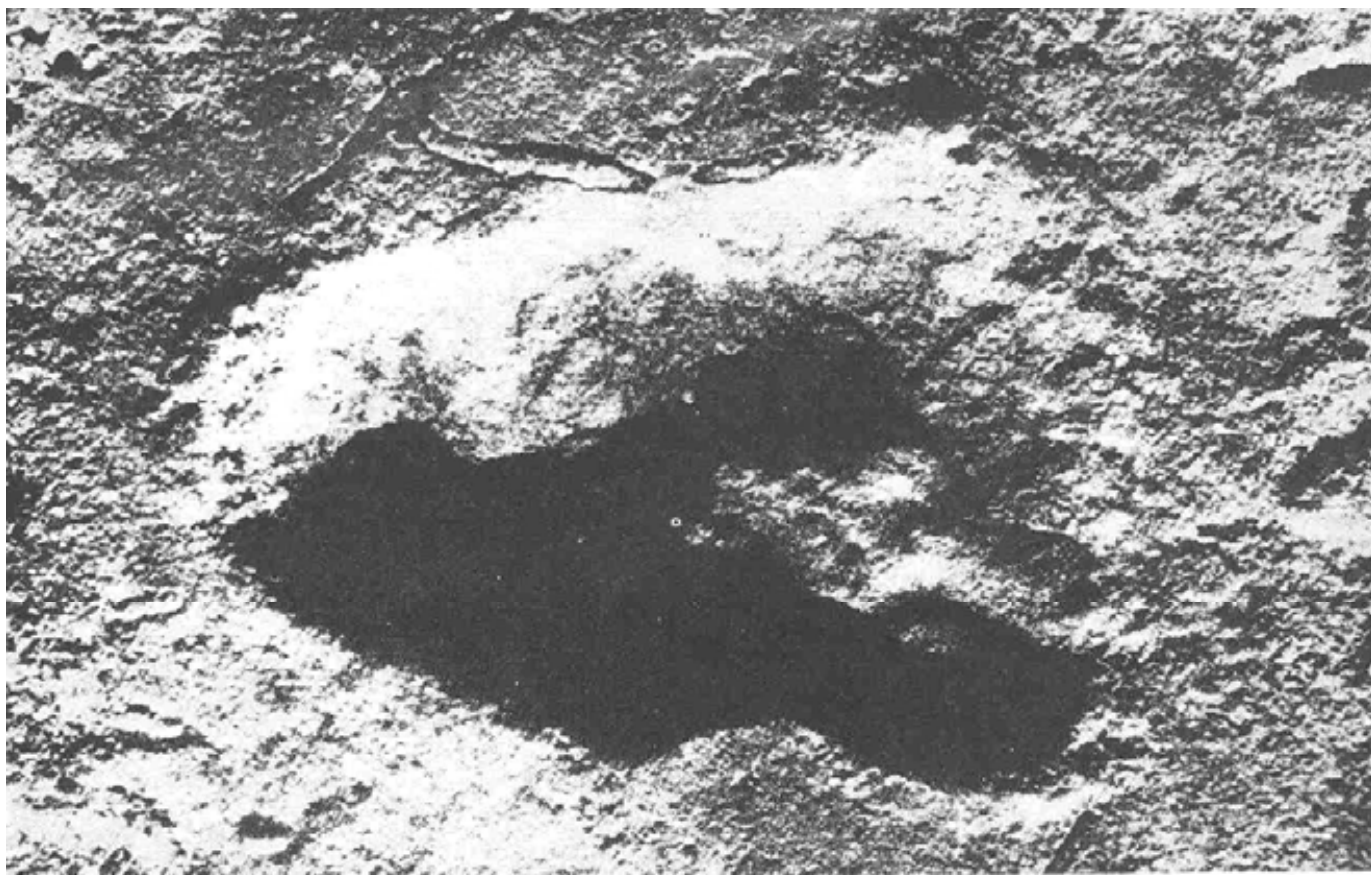
dos antigos maias (250 A.C. a 900 D.C.). Eles são invisíveis em fotografias comuns (à *direita, abaixo*). Isto responde ao mistério de como os maias suportavam uma civilização evoluída de vários milhões de pessoas. Alguns historiadores acreditam que todas as civilizações adiantadas na Terra começaram com a construção de uma rede de canais (cf. Capítulo 5). De diversas formas a exploração de outros mundos conduz a uma melhor compreensão do nosso próprio. Cortesia da NASA.

Orçamento anual para as ciências espaciais nos Estados Unidos desde a fundação da NASA. As quantias foram corrigidas levando-se em conta a inflação, convertendo os dólares pela taxa de 1967. A ascensão, no início dos anos 70, reflete o desenvolvimento da missão Viking em Marte. Um programa intenso de exploração planetária e pesquisa por rádio de uma inteligência extraterrestre custaria, nestes termos, cerca de um dólar por ano de cada americano.

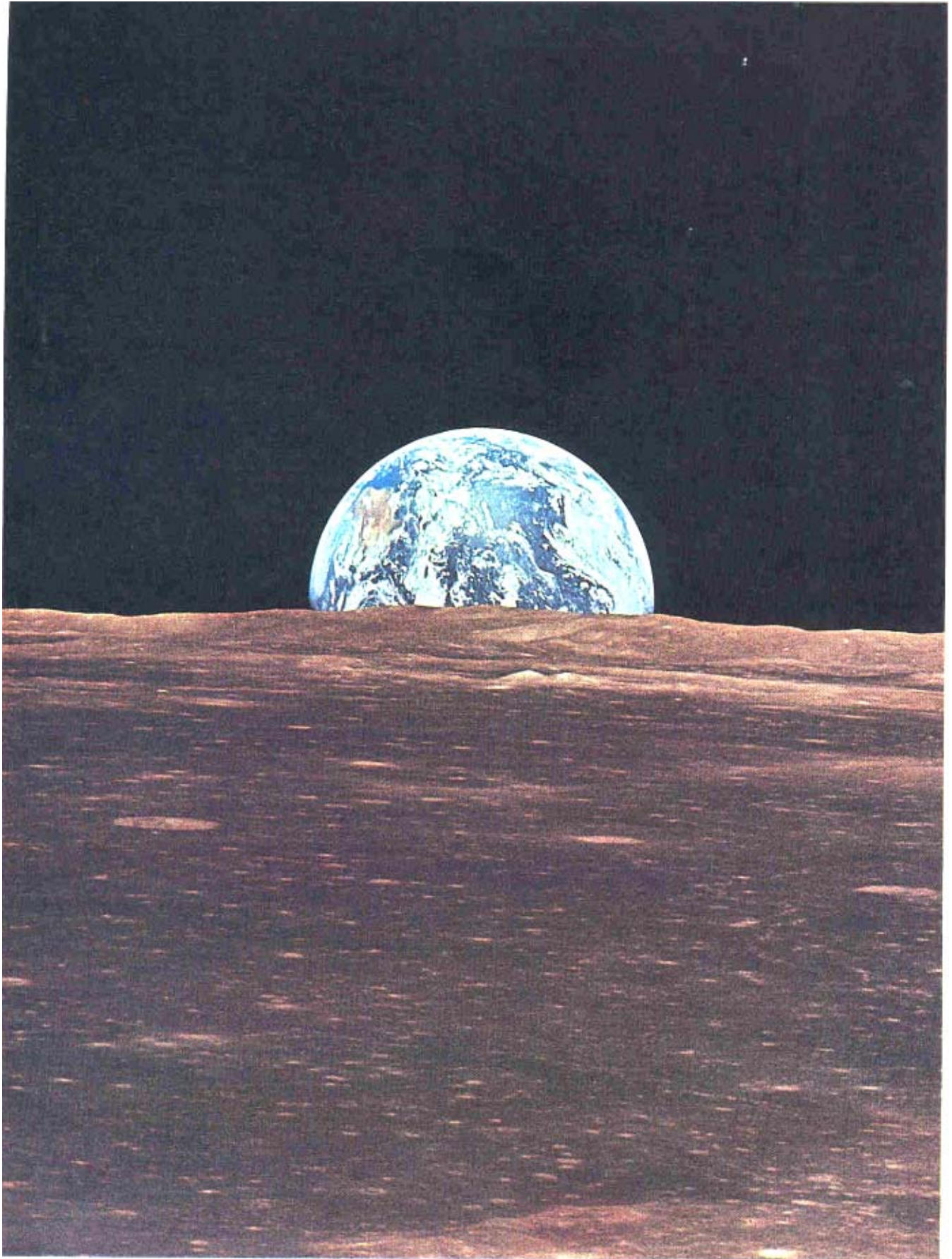


poderão continuar somente a favor de todas as pessoas do planeta Terra. Inverteremos nossas energias a um empreendimento devotado não à morte, mas à vida: a da vida em outros locais. A exploração espacial — não-tripulada e tripulada — utiliza muitos dos mesmos conhecimentos tecnológicos e organizacionais, exigindo a mesma dedicação à valorização e à coragem dos empregados na guerra. Havendo um tempo de desarmamento real antes da guerra nuclear este tipo de exploração capacitará finalmente os estabelecimentos industriais militares das grandes potências a engajarem-se em um empreendimento não corrompido. Interesses investidos em preparações para a guerra podem, com relativa facilidade, ser reinvestidos na exploração do Cosmos.

Um bom programa — até mesmo ambicioso — de exploração não-tripulada dos planetas não é dispendioso. O orçamento para as ciências espaciais nos Estados Unidos é apresentado na tabela acima. Gastos incomparáveis na Rússia são algumas vezes maiores. Estas somas juntas representam o equivalente a dois ou três submarinos nucleares por década, ou o custo de um dos muitos sistemas nucleares em um único ano. Nos últimos quatro meses de 1979, o custo do programa do avião U.S. F/A-18 aumentou \$5,1 bilhões e o do F-16 em \$3,4 bilhões. Segundo seus princípios, foi gasto significativamente menos em programas planetários não-tripulados nos Estados Unidos e Rússia juntos, do que aquilo que foi gasto escandalosamente, por exemplo, entre 1970 e 1975 no bombardeio americano no Camboja, uma aplicação da política nacional que custou \$7 bilhões. O custo total de uma missão como a Viking a Marte, ou a Voyager para o sistema solar exterior, é menor do que o da invasão russa de 1979-1980 ao Afeganistão. Através da aplicação tecnológica e o estímulo da tecnologia avançada, o gasto monetário na exploração espacial tem um efeito econômico multiplicador. Uma pesquisa sugere que para cada dólar gasto nos planetas, sete dólares voltam para a economia nacional. E ainda existem muitas missões importantes e inteiramente exequíveis que ainda não foram tentadas por falta de fundos — incluindo veículos para vagar sobre a superfície de Marte, um encontro com um cometa, sondas de penetração em Titã, e uma procura global de sinais de rádio e de outras civilizações no espaço.



Duas pegadas humanas. Acima, Tanzânia, 3,6 milhões de anos atrás. Abaixo, Mare Tranquilitatis, 1969. Cortesia de Mary Leakey, da National Geographic Society, e da NASA.



O custo das maiores aventuras no espaço — bases permanentes na Lua ou a exploração de Marte pelo homem, por exemplo — é tão grande que elas não serão, penso eu, consideradas em um futuro próximo, a menos que haja progressos dramáticos no desarmamento nuclear e "convencional". Mesmo assim, existem provavelmente necessidades mais prementes aqui na Terra. Mas não tenho dúvidas de que, se evitar-mos a autodestruição, mais cedo ou mais tarde executaremos estas missões. É quase impossível manter uma sociedade estática. Há um tipo de interesse múltiplo psicológico: mesmo uma pequena tendência ao cerceamento, uma saída para o Cosmos, somou em muitas gerações um declínio significativo. E inversamente, mesmo uma ligeira inclinação a aventuras além da Terra — o que podemos chamar, depois de Colombo, "o empreendimento das estrelas" — montou por muitas gerações a importância da presença humana em outros mundos, sem júbilo em nossa participação no Cosmos.

Há 3,6 milhões de anos, no que agora é chamado de norte da Tanzânia, um vulcão entrou em erupção; a nuvem de cinzas resultante cobriu as savanas adjacentes. Em 1979 a paleoantropóloga Mary Leakey descobriu nestas cinzas petrificadas as pegadas, acredita ela, do primeiro homíneo, talvez um ancestral de todas as pessoas da Terra de hoje. E a 380.000 km de distância, em um local plano e seco, a que seres humanos em um momento de otimismo chamaram de Mar da Tranquilidade, há uma outra pegada, deixada pelo primeiro ser humano a andar em outro mundo. Fomos longe em 3,6 milhões de anos, e em 4,6 e em 15 bilhões de anos.

Somos a personificação local de um Cosmos que cresceu pelo autoconhecimento. Começamos a contemplar nossas origens: material estelar meditando sobre estrelas; assembléias organizadas de dezenas de bilhões de bilhões de bilhões de átomos considerando a evolução dos átomos, traçando a longa jornada através da qual, pelo menos aqui, a consciência surgiu. Nossas lealdades são para com a espécie e com o planeta. Nós respondemos pela Terra. Nossa obrigação quanto à sobrevivência é devida não somente a nós mesmos, mas também a esse Cosmos, antigo e vasto, do qual surgimos.

Nosso planeta natal, de uma civilização emergente, esforçando-se para evitar a autodestruição. Este mundo é observado de um posto avançado temporário, próximo ao seu único satélite natural. A Terra viaja quase 2,5 milhões de quilômetros a cada dia em torno da Via-láctea; e, talvez, duas vezes mais rápido ainda do que a velocidade com que a Via-láctea se dirige ao aglomerado de galáxias Virgem. Temos sido sempre viajantes. Cortesia da NASA.

AGRADECIMENTOS

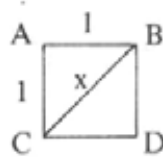
Além dos mencionados na introdução, sou muito grato àqueles que generosamente contribuíram com seu tempo e experiência nesta obra, incluindo Carol Lane, Myrna Talman, e Jenny Arden; David Oyster, Richard Wells, Tom Weidlinger, Dennis Gutierrez, Rob McCain, Nancy Kinney, Janelle Balnicke, Judy Flannery, e Susan Racho da equipe de televisão do Cosmos; Nancy Inglis, Peter Mollman, Marylea O'Relly, e Jennifer Peters da Random House; e George Abell, James Allen, Barbara Amago, Lawrence Anderson, Jonathon Arons, Halton Arp, Asma El Bakri, James Blinn, Bart Bok, Zeddie Bowen, John C. Brandt, Kenneth Brecher, Frank Bristow, John Callendar, Donald B. Campbell, Judith Campbell, Elof Axel Carlson, Michael Carra, John Cassani, Judith Castagno, Catherine Cesarsky, Martin Cohen, Judy-Lynn del Rey, Nicholas Devereux, Michael Devirian, Stephen Dole, Frank D. Drake, Frederick C. Durant III, Richard Epstein, Von R. Eshleman, Ahmed Fahmy, Herbert Friedman, Robert Frosch, Jon Fukuda, Richard Cammon, Ricardo Ciacconi, Thomas Gold, Paul Goldenberg, Peter Goldreich, Paul Goldsmith, J. Richard Gott III, Stephen Jay Gould, Bruce Hayes, Raymond Heacock, Wulff Heintz, Arthur Hoag, Paul Hodge, Dorrit Hoffleit, William Hoty, Icko Iben, Mikhail Jaroszynski, Paul Jepsen, Tom Karp, Bishun N. Khare, Charles Kohlhase, Edwin Krupp, Arthur Lane, Paul McLean, Bruce Margon, Harold Masursky, Linda Morabito, Edmond Momjian, Edward Moreno, Bruce Murray, William Murnane, Thomas A. Mutch, Kenneth Norris, Tobias Owen, Linda Paul, Roger Payne, Vahe Petrosian, James B. Pollack, George Preston, Nancy Priest, Boris Ragant, Dianne Rennell, Michael Rowton, Allan Sandage, Fred Scarf, Maarten Schmidt, Arnold Scheibel, Eugene Shoemaker, Frank Shu, Nathan Sivin, Bradford Smith, Laurence A. Soderblom, Hyron Spinrad, Edward Stone, Jeremy Stone, Ed Taylor, Kip S. Thorne, Norman Thrower, O. Brian Toon, Barbara Tuchman, Roger Ulrich, Richard Underwood, Peter van de Kamp, Jurrie J. Van der Woude, Arthur Vaughn, Joseph Veverka, Helen Simpson Vishniac, Dorothy Vitaliano, Robert Wagoner, Pete Waller, Josephine Walsh, Kent Weeks, Donald Yeomans, Stephen Yerazunis, Louise Gray Young, Harold Zifin, e a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço. Também sou grato pela assistência especial nas fotografias de Edwardo Castaneda e Bill Ray. A Paul West que generosamente me cedeu o título do capítulo V.

Apêndice 1

Reductio ad Absurdum e a Raiz Quadrada de Dois

O argumento pitagórico original da irracionalidade da raiz quadrada de 2 depende de um tipo de argumento chamado *reductio ad absurdum*; admitimos a veracidade de uma afirmação, observando suas consequências e o surgimento de uma contradição, o que torna a asserção falsa. Para darmos um exemplo moderno, consideremos o aforismo elaborado pelo grande físico do século XX, Niels Bohr: "O oposto de toda grande idéia é uma outra grande idéia". Se a asserção for verdadeira, suas consequências poderão ser, no mínimo, um pouco perigosas. Por exemplo, consideremos o oposto da Medida Áurea, ou da condenação ao mentiroso, ou "Tu não matarás". Vamos considerar então que o aforismo de Bohr seja uma grande idéia. Se for, então a asserção oposta, "O oposto de toda grande idéia não é uma grande idéia", deve ser verdade também. Devemos tentar a *reductio ad absurdum*. Se a asserção contrária é falsa, o aforismo não nos deterá, desde que se autoconfesse como não sendo uma grande idéia.

Apresentamos uma versão moderna da prova da irracionalidade da raiz quadrada de 2, usando a *reductio ad absurdum* e a álgebra simples ao invés da prova exclusivamente geométrica descoberta pelos pitagóricos. O estilo do argumento, a elaboração do pensamento são, pelo menos, tão interessantes quanto a conclusão:



Consideremos um quadrado com lados unitários (1 cm, 1 polegada, 1 ano-luz, isto não importa). A diagonal BC divide o quadrado em dois triângulos, cada um contendo um ângulo reto. Sobre os triângulos retângulos, o teorema de Pitágoras assegura: $1^2 + 1^2 = x^2$. Mas $1^2 + 1^2 = 1 + 1 = 2$, então $x^2 = 2$, então $x = \sqrt{2}$, raiz quadrada de dois. Vamos admitir que $\sqrt{2}$ é um número racional: $\sqrt{2} = p/q$, onde p e q são números inteiros. Eles podem ser tão grandes quanto queiramos e representar qualquer inteiro que escolhermos. Podemos, certamente, exigir que eles não tenham fatores comuns. Se estipularmos que $\sqrt{2} = 14/10$, por exemplo, obviamente simplificariamos por 2 e escreveríamos $p = 7$ e $q = 5$, não $p = 14$ e $q = 10$. Qualquer fator comum, no numerador ou denominador seria simplificado antes de iniciarmos. Há infinitos p e q para escolhermos. Partindo de $\sqrt{2} = p/q$, ou, multiplicando ambos os membros por q^2 , temos:

$$p^2 = 2q^2 \quad (\text{Equação 1})$$

p^2 é, então, um número qualquer multiplicado por 2. Portanto, p^2 é um número par. Mas o quadrado de qualquer número ímpar é ímpar. ($1^2 = 1$; $3^2 = 9$; $5^2 = 25$; $7^2 = 49$, etc). Então p deve ser par, e podemos escrever $p = 2s$, onde s é um número inteiro qualquer. Substituindo p na equação (1), temos:

$$p^2 = (2s)^2 = 4s^2 = 2q^2$$

Dividindo-se ambos os membros dessa última igualdade por 2, temos:

$$q^2 = 2s^2$$

Portanto, q^2 é um número par e, pelo mesmo argumento que usamos para p , segue que q é par também. Mas se p e q são ambos pares e divisíveis por 2, então eles não foram simplificados por um fator comum, contradizendo uma de nossas asserções. *Reductio ad absurdum*. Mas, qual asserção? O argumento pode não dizer que a simplificação dos fatores comuns é proibida, que $14/10$ é permitido e $7/5$ não. Então a asserção inicial pode estar errada; p e q não podem ser números inteiros e $\sqrt{2}$ é irracional. De fato, $\sqrt{2} = 1,4142135...$

Que conclusão surpreendente e inesperada! Que prova elegante! Mas os Pitagóricos sentiram-se compelidos a abafar essa grande descoberta.

Apêndice 2

Os Cinco Sólidos Pitagóricos

Um polígono (palavra grega para "muitos ângulos") regular é uma figura bidimensional com um número n , qualquer, de lados iguais. Se $n = 3$, temos um triângulo equilátero; $n = 4$, um quadrado; $n = 5$, um pentágono, etc. Um poliedro (palavra grega para "muitos lados") é uma figura tridimensional, todas as suas faces são polígonos; um cubo, por exemplo, com seis quadrados por faces. Um poliedro simples ou regular não tem nenhuma falha em sua superfície. Fundamental para o trabalho dos Pitagóricos e de Johannes Kepler foi o fato de que, para eles, só havia 5 e somente 5 sólidos regulares. A prova mais óbvia da relação descoberta mais tarde por Descartes e por Leonhard Euler, que relaciona o número de faces, F , com o número de arestas E , e o número de vértices V de um sólido regular:

$$V - E + F = 2 \quad (\text{Equação 2})$$

Em um cubo há 6 faces ($F = 6$) e 8 vértices ($V = 8$), e $8 - E + 6 = 2$; $14 - E = 2$; e $E = 12$. A Equação (2) prediz que o cubo tem 12 arestas, como na realidade tem. Uma prova geométrica simples da Equação (2) pode ser encontrada no livro de Courant e Robbins, na bibliografia. Da Equação (2) podemos provar que há somente 5 sólidos regulares:

Toda aresta de um sólido regular é definida pelos lados de 2 polígonos adjacentes. Imaginemos novamente o cubo, onde toda aresta é uma fronteira entre dois quadrados. Se contarmos todos os lados de todas as faces do poliedro, nF , iremos contar cada aresta duas vezes. Então:

$$nF = 2E \quad (\text{Equação 3})$$

Chamemos r o número de arestas em cada vértice. Para um cubo, $r = 3$. Também cada aresta conecta dois vértices. Se contarmos todos os vértices, rV , estaremos contando cada aresta duas vezes. Então:

$$rV = 2E \quad (\text{Equação 4})$$

Substituindo V e F das Equações (3) e (4), na Equação (2), encontraremos:

$$\frac{2E}{r} - E + \frac{2E}{n} = 2$$

Se dividirmos ambos os membros desta equação por $2E$, teremos:

$$\frac{1}{n} + \frac{1}{r} = \frac{1}{2} + \frac{1}{E} \quad (\text{Equação 5})$$

Sabemos que n é 3 ou mais, uma vez que o polígono mais simples é o triângulo, com três lados. Também sabemos que r é 3 ou mais, já que, pelo menos, 3 faces se encontram em um dado vértice em um poliedro. Se n e r forem *simultaneamente* maior do que 3, o membro esquerdo da Equação (5) seria menor que $2/3$ e a equação não seria satisfeita por nenhum valor positivo de E . Então, por uma outra *reductio ad absurdum*, ou $n = 3$ e r é 3 ou mais, ou $r = 3$ e n é 3 ou mais.

Se $n = 3$, a Equação (5) torna-se: $(1/3) + (1/r) = (1/2) + (1/E)$, ou

$$\frac{1}{5} - \frac{1}{E} + \frac{1}{6} \quad (\text{Equação 6})$$

Então, neste caso, r só pode ser igual a 3, 4 ou 5. (Se E for 6 ou mais, a equação seria violada.) Agora $n = 3$, $r = 3$ designa um sólido no qual 3 triângulos encontram-se em cada vértice. Pela Equação (6) ele tem 6 arestas; pela Equação (3) tem 4 faces; pela Equação (4) tem 4 vértices. Claramente ele é a pirâmide ou tetraedro; $n = 3$, $r = 4$ é um sólido com 8 faces onde 4 triângulos encontram-se em cada vértice, o octaedro; e $n = 3$, $r = 5$ representa um sólido

com 20 faces, onde 5 triângulos encontram-se em cada vértice, o icosaedro (veja figuras na página 58.) Se $r = 3$, a Equação (5) fica:

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{E} + \frac{1}{6}$$

e por argumentos similares n só pode ser igual a 3, 4 ou 5. $n = 3$ é o tetraedro novamente; $n = 4$ é um sólido onde as faces são 6 quadrados, o cubo; e $n = 5$ corresponde a um sólido onde as faces são 12 pentágonos, o dodecaedro (veja a figura na página 184).

Não há outros valores inteiros possíveis para n e r e, portanto, há somente 5 sólidos regulares, uma conclusão tirada da bela e abstrata matemática, que tem tido, como vimos, o mais profundo impacto nas questões pragmáticas do homem.